

MUNDOS MÁS ALLÁ DEL SISTEMA SOLAR



LA ESTRUCTURA DEL ADN ES UNA DOBLE HÉLICE





EL RADIO DEL ESPACIO PARTIÓ DE CERO



ESTAMOS HECHOS DE POLVO DE ESTRELLAS



LA ÓRBITA DE LOS PLANETAS ES UNA ELIPSE



EL RESORTE DEL AIRE

EL LIBRO DE LA CIENCIA



LA RADIACTIVIDAD ES UNA PROPIEDAD ATÓMICA DE CIERTOS ELEMENTOS



UNA NUEVA LEY NATURAL



LA MASA DE LAS PLANTAS PROCEDE DEL AIRE



¿UNA TEORÍA DEL TODO?

EN EL CENTRO DE TODAS LAS COSAS ESTÁ EL SOL

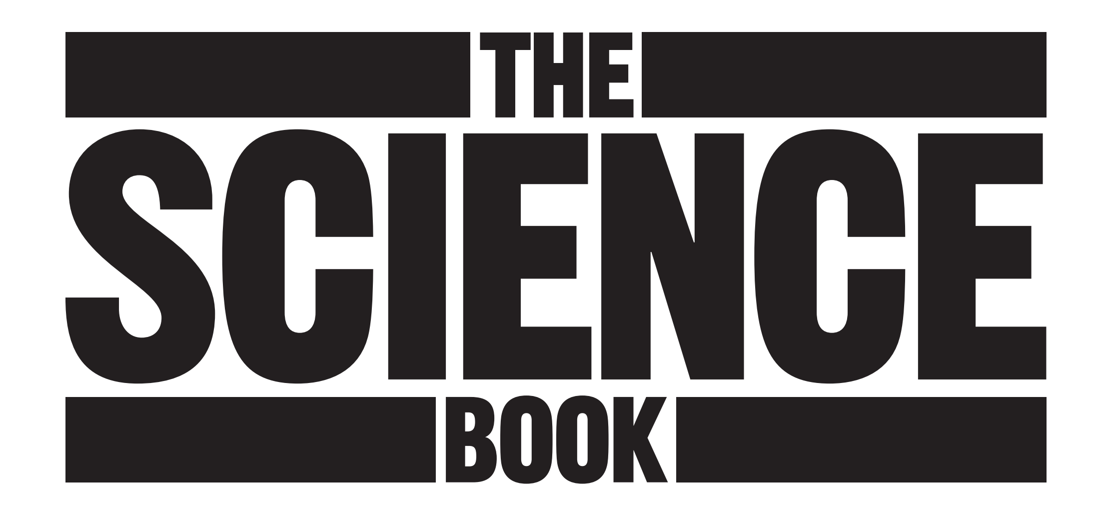


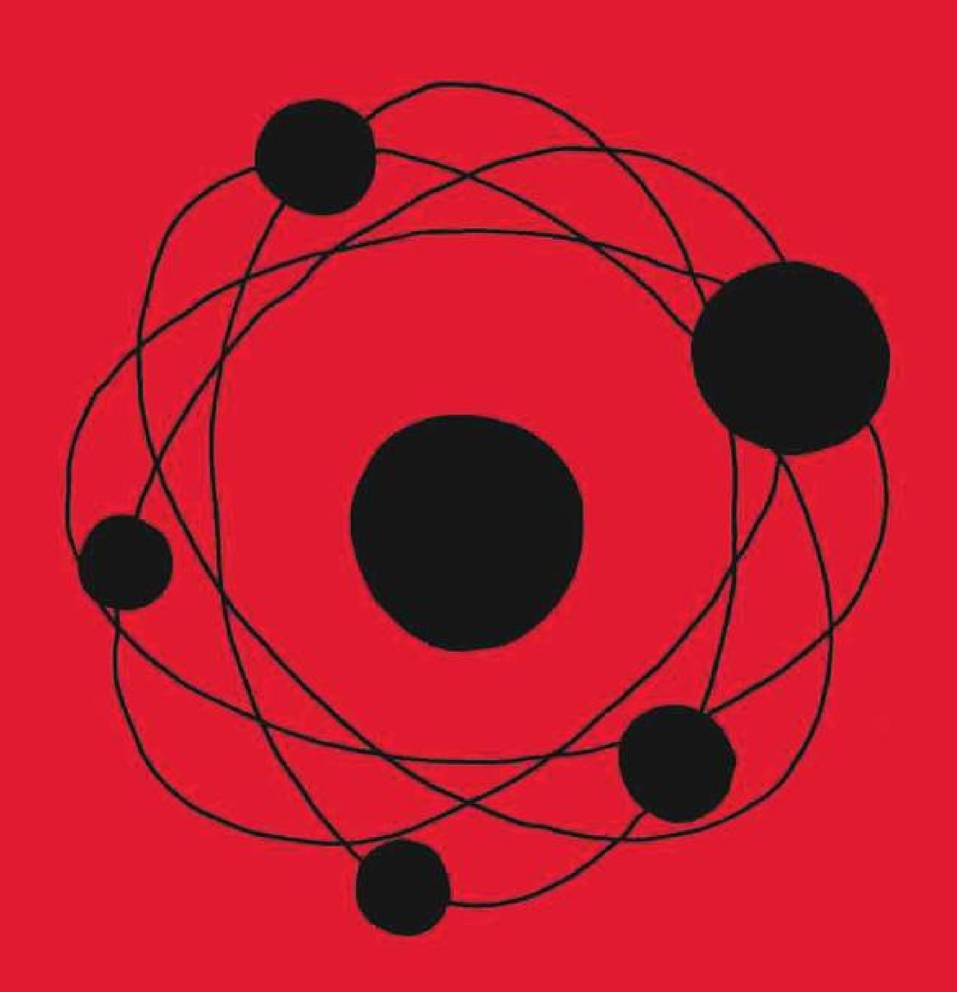
EL VÍNCULO EVOLUTIVO ENTRE AVES Y DINOSAURIOS

EL UNIVERSO ES GRANDE... Y CRECE SIN CESAR



GRANDES IDEAS, EXPLICACIONES SENCILLAS


THE
SCIENCE
BOOK



THE SCIENCE BOOK





LONDRES, NUEVA YORK, MELBOURNE, MÚNICH Y DELHI

DK LONDRES

EDITOR DE ARTE DEL PROYECTO
katie cavanagh

EDITOR EN JEFE
Georgina Palffy

EDITOR DE EE. UU.
jane perlmutter

EDITOR SÉNIOR DE EE. UU.
margaret parrish

EDITOR DE ARTE ADMINISTRADOR
Lee Griffiths

JEFE DE REDACCIÓN
Stephanie Farrow

DIRECTORA DE EDICIONES
jonathan metcalf

DIRECTOR DE ARTE
Phil Ormerod

EDITOR
Andrés Macintyre

DISEÑADOR DE CHAQUETAS
laura borde

EDITOR DE CHAQUETAS
maud whatley

DISEÑO DE CHAQUETA
GERENTE DE DESARROLLO
Sofía MTT

PRODUCTOR DE PREPRODUCCIÓN
Adán Stoneham

PRODUCTOR
mandy inness

ILUSTRACIONES
James GrahamPeter Liddiard

producido para DK por

ÁRBOL ALTO LTD.

EDITORES
rober colson
Camila Hallinán
david juan

DISEÑO Y DIRECCIÓN DE ARTE
Ben Ruocco

DK DELHI

REDACTOR DE PROYECTOS
priyaneet singh

EDITOR DE ARTE ASISTENTE
Vidit Vashisht

DISEÑADOR DTP
jaypal chauhan

JEFE DE REDACCIÓN
Kingshuk Ghoshal

EDITOR DE ARTE ADMINISTRADOR
Govind Mittal

GERENTE DE PREPRODUCCIÓN
balwant singh

estilo original de

ESTUDIO 8

Publicado en los Estados Unidos por
Editorial DK
4.º piso, 345 Hudson Street
Nueva York, Nueva York 10014

14 15 16 17 18 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
001–192893–julio/2014

Publicado en Gran Bretaña por
Dorling Kindersley Limited

Un registro de catálogo para este libro está disponible en la Biblioteca del Congreso.

ISBN: 978-1-4654-1965-1

Los libros DK están disponibles con descuentos especiales cuando se compran al por mayor para promociones de ventas, primas, recaudación de fondos, o uso educativo. Para más detalles, póngase en contacto con: DK Publishing Special Markets, 345 Hudson Street, Nueva York, Nueva York 10014 o SpecialSales@dk.com .

Impreso y encuadernado en China
por Leo Paper Products Ltd.

Descubre más en
www.dk.com

CONTRIBUYENTES

ADAM HART-DAVIS, EDITOR CONSULTOR

Adam Hart-Davis se formó como químico en las universidades de Oxford y York, y Alberta, Canadá. Pasó cinco años editando libros de ciencia y ha estado haciendo programas de televisión y radio sobre ciencia, tecnología, matemáticas e historia, como productor y conductor, durante 30 años. Ha escrito 30 libros sobre ciencia, tecnología e historia.

JOHN FARNDON

John Farndon es un escritor científico cuyos libros han sido preseleccionados cuatro veces para el premio de libros de ciencia juvenil de la Royal Society y para el premio de educación de la Sociedad de Autores. Sus libros incluyen*Los grandes científicos*y*Atlas de los océanos*. Fue colaborador de DK's*Ciencia*y*Ciencia año por año*.

DAN VERDE

Dan Green es autor y escritor científico. Tiene una maestría en Ciencias Naturales de la Universidad de Cambridge y ha escrito más de 40 títulos. Recibió dos nominaciones separadas para el Premio del Libro de los Jóvenes de la Royal Society 2013 y su*ciencia basher*La serie ha vendido más de 2 millones de copias.

DEREK HARVEY

Derek Harvey es un naturalista con un interés particular en la biología evolutiva y escritor de títulos que incluyen los de DK. *Ciencia*y*El libro de historia natural*. Estudió Zoología en la Universidad de Liverpool, enseñó a una generación de biólogos y dirigió expediciones a Costa Rica y Madagascar.

PENIQUE JOHNSON

Penny Johnson comenzó como ingeniera aeronáutica, trabajó en aviones militares durante 10 años antes de convertirse en profesora de ciencias y luego en editora produciendo cursos de ciencias para escuelas. Penny ha sido escritora educativa a tiempo completo durante más de 10 años.

DOUGLAS PALMER

Douglas Palmer, un escritor científico con sede en Cambridge, Gran Bretaña, ha publicado más de 20 libros en los últimos 14 años, más recientemente una aplicación (NHM Evolution) para el Museo de Historia Natural de Londres y DK's.*Vaya dinosaurio*libro para niños. También es profesor del Instituto de Educación Continua de la Universidad de Cambridge.

steve parker

Steve Parker es escritor y editor de más de 300 libros de información que se especializan en ciencia, particularmente biología y ciencias biológicas afines. Tiene una licenciatura en zoología, es miembro científico sénior de la Sociedad Zoológica de Londres y es autor de títulos para diversas edades y editoriales. Steve ha recibido numerosos premios, el más reciente el Premio al Libro de Información de la Asociación de Bibliotecas Escolares del Reino Unido de 2013 por*Ciencia loca*.

GORRIÓN DE GILES

Giles Sparrow estudió astronomía en el University College London y Ciencias de la Comunicación en el Imperial College de Londres, y es un autor de best-sellers sobre ciencia y astronomía. Sus libros incluyen*Cosmos*,*Vuelo espacial*,*El Universo en 100 Descubrimientos Clave*, y*Física en minutos*, así como contribuciones a libros de DK como*Universo*y*Espacio*.

CONTENIDO

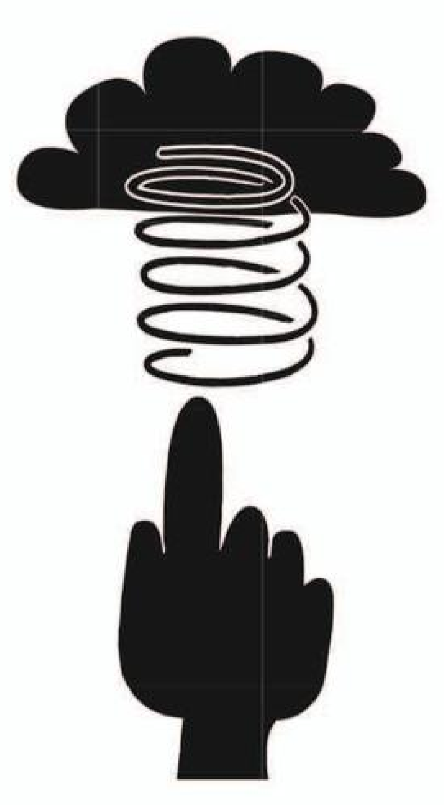
EL PRINCIPIO DE CIENCIA

600antes de Cristo–1400CE



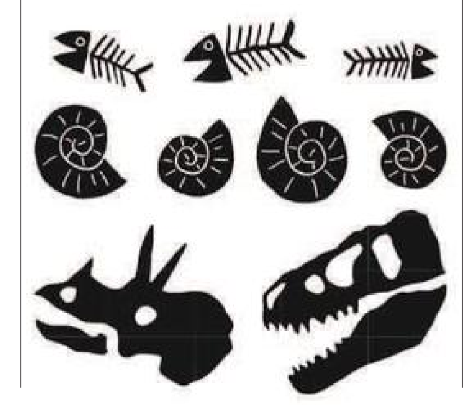
CIENTÍFICO REVOLUCIÓN

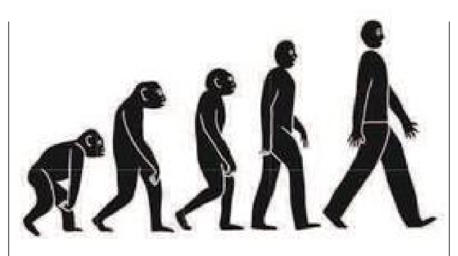
1400-1700



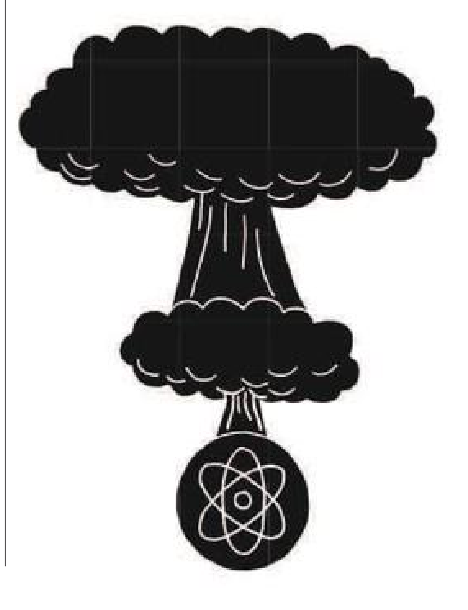
EN EXPANSIÓN HORIZONTES
1700-1800

UN SIGLO DE PROGRESO
1800-1900





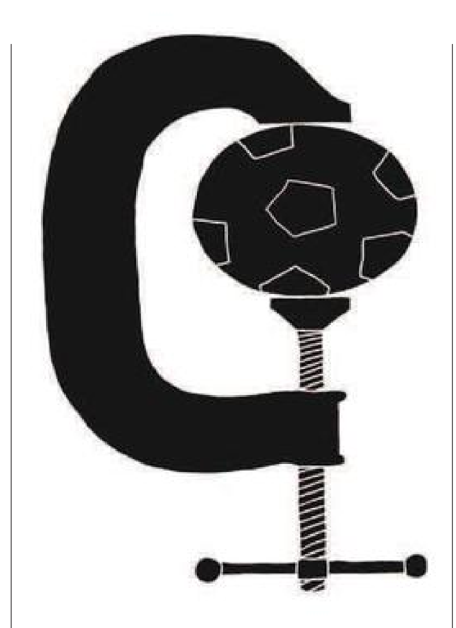
UN CAMBIO DE PARADIGMA
1900-1945



FUNDAMENTAL

BLOQUES DE CONSTRUCCIÓN

1945-PRESENTE



PRESENTACIÓN

CCIÓN





S La ciencia es una búsqueda continua de la verdad, un perpetuo lucha por descubrir cómo funciona el universo que se remonta a las primeras civilizaciones. Impulsado por la curiosidad humana, se ha basado en el razonamiento, la observación y la experimentación. El más conocido de los antiguos filósofos griegos, Aristóteles, escribió extensamente sobre temas científicos y sentó las bases para gran parte del trabajo que siguió. Era un buen observador de la naturaleza, pero confiaba completamente en el pensamiento y la argumentación, y no hacía experimentos. Como resultado, se equivocó en varias cosas. Afirmó que los objetos grandes caen más rápido que los pequeños, por ejemplo, y que si un objeto tuviera el doble de peso que otro, caería el doble de rápido. Aunque esto es un error, nadie lo puso en duda hasta que el astrónomo italiano Galileo Galilei refutó la idea en 1590. Si bien hoy puede parecer obvio que un buen científico debe confiar en la evidencia empírica,

El método científico

El filósofo inglés Francis Bacon propuso por primera vez un sistema lógico para el proceso científico a principios del siglo XVII. Sobre la base del trabajo del científico árabe Alhazen 600 años antes, y pronto Para ser reforzado por el filósofo francés René Descartes, el método científico de Bacon requiere que los científicos hagan observaciones, formen una teoría para explicar lo que está pasando y luego realicen un experimento para ver si la teoría funciona. Si parece ser cierto, entonces los resultados pueden ser enviados para revisión por pares, en la que se invita a personas que trabajan en el mismo campo o en uno similar a encontrar fallas en el argumento, y así falsificar la teoría, o repetir el experimento para asegúrese de que los resultados sean correctos.

Hacer una hipótesis comprobable o una predicción siempre es útil. El astrónomo inglés Edmond Halley, al observar el cometa de 1682, se dio cuenta de que era similar a cometas reportados en 1531 y 1607, y sugirieron que los tres eran el mismo objeto, en órbita alrededor del Sol. Predijo que regresaría en 1758 y tenía razón, aunque solo por poco: fue visto el 25 de diciembre. Hoy en día, el cometa se conoce como cometa Halley. Dado que los astrónomos rara vez pueden realizar experimentos, la evidencia solo puede provenir de la observación.



Todas las verdades son fáciles de entender una vez que se descubren; el punto es descúbrelos

Galileo Galilei



Los experimentos pueden probar una teoría o ser puramente especulativos. Cuando el físico nacido en Nueva Zelanda, Ernest Rutherford, observó a sus alumnos disparar partículas alfa al pan de oro en busca de pequeñas desviaciones, sugirió colocar el detector al lado de la fuente y, para su asombro, algunas de las partículas alfa rebotaron en el papel fino. frustrar. Rutherford dijo que era como si un proyectil de artillería hubiera rebotado en un pañuelo de papel y esto lo llevó a una nueva idea sobre la estructura del átomo.

Un experimento es tanto más convincente si el científico, al proponer un nuevo mecanismo o teoría, puede hacer una predicción sobre el resultado. Si el experimento produce el resultado predicho, el científico tiene evidencia que apoya la teoría. Aun así, la ciencia nunca puede probar que una teoría es correcta; como el



Como señaló el filósofo de la ciencia del siglo XX, Karl Popper, solo puede refutar cosas. Cada experimento que da respuestas predichas es evidencia de apoyo, pero un experimento que falla puede hacer que toda una teoría se derrumbe.

A lo largo de los siglos, conceptos arraigados como un universo geocéntrico, los cuatro humores corporales, el elemento fuego flogisto y un medio misterioso llamado éter han sido refutados y reemplazados por nuevas teorías. Estas, a su vez, son solo teorías, y aún pueden ser refutadas, aunque en muchos casos esto es poco probable dada la evidencia que las respalda.

progresión de ideas

La ciencia rara vez avanza en pasos simples y lógicos. Los descubrimientos pueden ser realizados simultáneamente por científicos que trabajan de forma independiente, pero casi todos los avances dependen en cierta medida del trabajo y las teorías anteriores. Una de las razones para construir el vasto aparato conocido como Gran Colisionador de Hadrones, o LHC, fue buscar la partícula de Higgs, cuya existencia se predijo 40 años antes, en 1964. Esa predicción se basó en décadas de trabajo teórico sobre la estructura del átomo. , volviendo a Rutherford y al trabajo del físico danés Niels Bohr en la década de 1920, que dependió del descubrimiento del electrón en 1897, que a su vez dependió del descubrimiento de los rayos catódicos en 1869. Esos no podrían haberse encontrado sin la bomba de vacío y, en 1799, la invención de la batería. —y así la cadena se remonta a décadas y siglos. El gran físico inglés Isaac Newton dijo la famosa frase: “Si he visto más allá, ha sido al subirme a hombros de gigantes”. Se refería principalmente a Galileo, pero probablemente también había visto una copia del libro de Alhazen.*Óptica*.

Los primeros científicos

Los primeros filósofos con una perspectiva científica estuvieron activos en el mundo griego antiguo durante los siglos VI y V.antes de Cristo. Tales de Mileto predijo un eclipse de Sol en 585antes de Cristo; Pitágoras estableció una escuela matemática en lo que ahora es el sur de Italia 50 años después, y Jenófanes, después de encontrar conchas marinas en una montaña, razonó que toda la Tierra debió haber estado alguna vez cubierta por el mar.

En Sicilia en el siglo IVantes de Cristo, Empédocles afirmó que la tierra, el aire, el fuego y el agua son las "cuatro raíces de todo". También llevó a sus seguidores al cráter volcánico del monte Etna y saltó, aparentemente para mostrar que era inmortal, y como resultado lo recordamos hasta el día de hoy.

Astrónomos

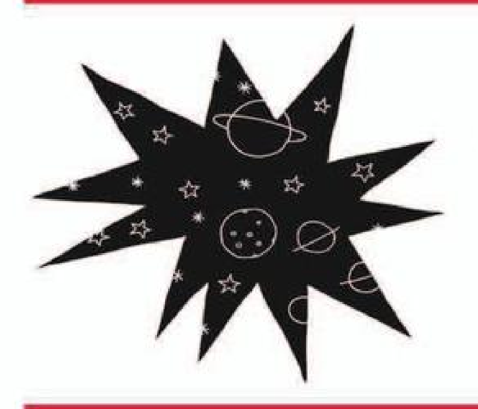
Mientras tanto, en India, China y el Mediterráneo, la gente trató de dar sentido a los movimientos de los cuerpos celestes. Hicieron mapas de estrellas, en parte como ayudas para la navegación, y nombraron estrellas y grupos de estrellas. También notaron que algunos trazaron caminos irregulares cuando se vieron contra las "estrellas fijas". Los griegos llamaron a estas estrellas errantes "planetas". El chino vio el cometa Halley en 240antes de Cristo y, en 1054, una supernova que ahora se conoce como la Nebulosa del Cangrejo.

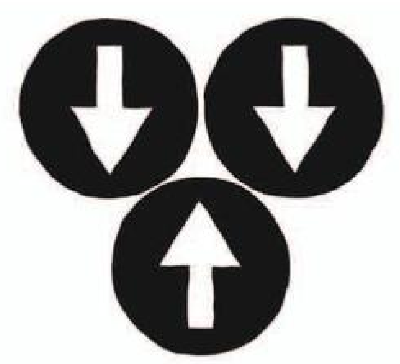


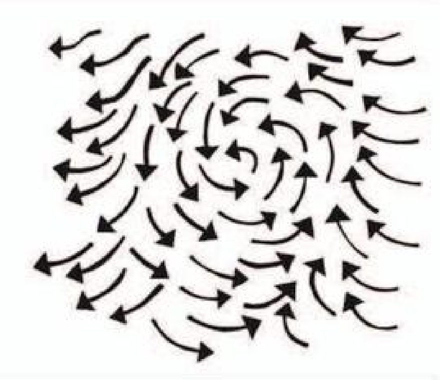
Si fueras un verdadero buscador después de la verdad, es necesario que al menos una vez en tu vida que dudas, en cuanto posible, todas las cosas.

René Descartes









casa de la sabiduria

A finales del siglo VIIICE, el califato abasí instaló la Casa de la Sabiduría, una magnífica biblioteca, en su nueva capital, Bagdad. Esto inspiró rápidos avances en la ciencia y la tecnología islámicas. Se inventaron muchos dispositivos mecánicos ingeniosos, junto con el astrolabio, un dispositivo de navegación que usaba las posiciones de las estrellas. Floreció la alquimia y aparecieron técnicas como la destilación. Los académicos de la biblioteca recopilaron todos los libros más importantes de Grecia y de la India y los tradujeron al árabe, que es la forma en que Occidente redescubrió más tarde las obras de los antiguos y se enteró de los números "árabes", incluido el cero, que se importaron. de la India.

Nacimiento de la ciencia moderna

A medida que el monopolio de la Iglesia sobre la verdad científica comenzaba a debilitarse en el mundo occidental, el año 1543 vio la publicación de dos libros innovadores. El anatomista belga Andreas Vesalius produjo*De Humani Corporis Fábrica*, que describía sus disecciones de cadáveres humanos con exquisitas ilustraciones. En el mismo año, el médico polaco Nicolaus Copernicus publicó*De revolutionibus orbium coelestium*, que afirmaba firmemente que el Sol es el centro del universo, anulando el modelo centrado en la Tierra descubierto por Ptolomeo de Alejandría un milenio antes.

En 1600, el médico inglés William Gilbert publicó*Magneto*en el que explicó que las agujas de las brújulas apuntan al norte porque la Tierra misma es un imán. Incluso argumentó que el núcleo de la Tierra está hecho de hierro. En 1623, otro médico inglés, William Harvey, describió por primera vez cómo el corazón actúa como una bomba y conduce la sangre por todo el cuerpo, anulando así para siempre teorías anteriores que se remontaban a 1400 años atrás, hasta el médico grecorromano Galeno.

En la década de 1660, el químico angloirlandés Robert Boyle produjo una serie de libros, entre ellos*El químico escéptico*, en el que definió un elemento químico. Esto marcó el nacimiento de la química como ciencia, a diferencia de la alquimia mística de la que surgió.

Robert Hooke, quien trabajó durante un tiempo como asistente de Boyle, produjo el primer best-seller científico, *Micrografía*, en 1665. Sus magníficas ilustraciones desplegables de temas como una pulga y el ojo de una mosca abrieron un mundo microscópico que nadie había visto antes. Luego, en 1687, apareció lo que muchos consideran el libro de ciencia más importante de todos los tiempos, isaac newton*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, comúnmente conocido como el*principios*. Sus leyes del movimiento y el principio de la gravedad universal forman la base de la física clásica.

Elementos, átomos, evolución.

En el siglo XVIII, el químico francés Antoine Lavoisier descubrió el papel del oxígeno en la combustión, desacreditando la antigua teoría del flogisto. Pronto se investigaron una gran cantidad de nuevos gases y sus propiedades. Pensar en los gases de la atmósfera llevó al meteorólogo británico John Dalton a

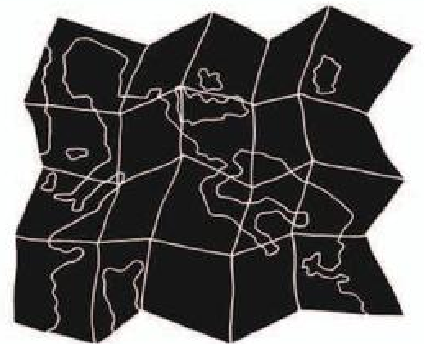


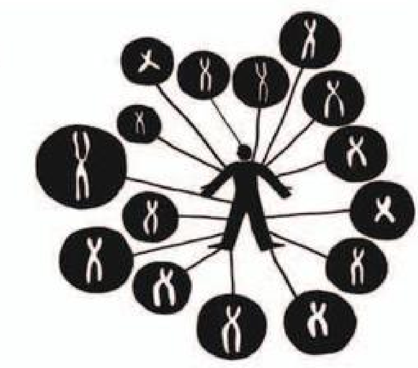
Parezco haber sido sólo como un niño jugando a la orilla del mar y divirtiéndome de vez en cuando encontrando un guijarro más suave... mientras que el gran océano de verdad yace todo sin descubrir antes que yo.

isaac newton









sugerir que cada elemento constaba de átomos únicos, y proponer la idea de los pesos atómicos. Luego, el químico alemán August Kekulé desarrolló la base de la estructura molecular, mientras que el inventor ruso Dmitri Mendeleev presentó la primera tabla periódica de los elementos generalmente aceptada.

La invención de la batería eléctrica por Alessandro Volta en Italia en 1799 abrió nuevos campos de la ciencia, en los que marcharon el físico danés Hans Christian Ørsted y el británico contemporáneo Michael Faraday, descubriendo nuevos elementos y el electromagnetismo, lo que condujo a la invención del motor eléctrico. Mientras tanto, las ideas de la física clásica se aplicaron a la atmósfera, las estrellas, la velocidad de la luz y la naturaleza del calor, que se convirtió en la ciencia de la termodinámica.

Los geólogos que estudian los estratos rocosos comenzaron a reconstruir el pasado de la Tierra. La paleontología se puso de moda cuando empezaron a aparecer restos de criaturas extintas. Mary Anning, una niña británica sin educación, se convirtió en una mundialmente famosa ensambladora de restos fósiles. Con los dinosaurios llegaron ideas sobre la evolución, la más famosa del naturalista británico Charles Darwin, y nuevas teorías sobre los orígenes y la ecología de la vida.

Incertidumbre e infinito

A principios del siglo XX, un joven alemán llamado Albert Einstein propuso su teoría de la relatividad, sacudiendo la física clásica y acabando con la idea de un tiempo y un espacio absolutos. Se propusieron nuevos modelos del átomo; se demostró que la luz actúa como partícula y como onda; y otro alemán, Werner Heisenberg, demostró que el universo era incierto.

Sin embargo, lo más impresionante del último siglo es cómo los avances técnicos han permitido que la ciencia avance más rápido que nunca, impulsando ideas con una precisión cada vez mayor. Colisionadores de partículas cada vez más poderosos revelaron nuevas unidades fundamentales de materia. Telescopios más potentes demostraron que el universo está



La realidad es simplemente una ilusión, aunque muy persistente.
Albert Einstein



expandiéndose, y comenzó con un Big Bang. La idea de los agujeros negros comenzó a echar raíces. La materia oscura y la energía oscura, fueran lo que fueran, parecían llenar el universo, y los astrónomos comenzaron a descubrir nuevos mundos: planetas en órbita alrededor de estrellas distantes, algunos de los cuales incluso pueden albergar vida. matemático británico alan turing

Pensamos en la máquina informática universal, y en 50 años teníamos computadoras personales, Internet y teléfonos inteligentes.

secretos de la vida

En biología, se demostró que los cromosomas son la base de la herencia y se decodificó la estructura química del ADN. Solo 40 años después, esto condujo al proyecto del genoma humano, que parecía una tarea abrumadora en perspectiva y, sin embargo, con la ayuda de la informática, se hizo cada vez más rápido a medida que avanzaba. La secuenciación del ADN es ahora una operación de laboratorio casi rutinaria, la terapia génica ha pasado de ser una esperanza a una realidad y se ha clonado el primer mamífero.

A medida que los científicos de hoy se basan en estos y otros logros, continúa la búsqueda incesante de la verdad. Parece probable que siempre habrá más preguntas que respuestas, pero los descubrimientos futuros seguramente seguirán sorprendiendo.

EL RUEGO

DE LA CIENCIA

600antes de Cristo–1400CE

NINGÚN

NCE

Tales de Mileto predice el **eclipse de el sol** eso trae la batalla de Halys hasta el fin.



585 antes de Cristo

Jenófanes encuentra conchas marinas en las montañas, y concluye que **toda la tierra fue una vez cubierto de agua**.



c.500 antes de Cristo

Aristóteles escribe una cadena de libros sobre temas que incluyen **física, biología y zoología**.



c.325 antes de Cristo

Aristarco de Samos sugiere que **el sol**, en lugar de la Tierra, **es el centro de el universo**.



c.250 antes de Cristo

c.530 antes de Cristo



Pitágoras funda una **escuela matematica** en Croton en lo que es ahora Sur de Italia.

c.450 antes de Cristo



Empédocles sugiere que todo en La tierra está hecha de combinaciones de **tierra, aire, fuego y agua**.

c.300 antes de Cristo



Teofrasto escribe *consulta de plantas* y *las causas de plantas*, fundación **la disciplina de botánica**.

c.240 antes de Cristo



Arquímedes descubre que la corona de un rey no es oro puro por **midiendo el empuje hacia arriba de agua desplazada**.

Tl estudio científico del mundo tiene sus raíces en Mesopotamia. Siguiente la invención de la agricultura y la escritura, la gente tenía tiempo para dedicarse al estudio y los medios para transmitir los resultados de esos estudios a la siguiente generación. La ciencia primitiva se inspiró en la maravilla del cielo nocturno. Desde el cuarto milenio antes de Cristo, los sacerdotes sumerios estudiaron las estrellas y registraron sus resultados en tablillas de arcilla. No dejaron constancia de sus métodos, sino una tablilla que data de 1800 antes de Cristo muestra el conocimiento de las propiedades de los triángulos rectángulos.

Antigua Grecia

Los antiguos griegos no veían la ciencia como un tema separado de la filosofía, sino como la primera figura cuyo trabajo es reconociblemente científico es probablemente Tales de Mileto, de quien Platón dijo que pasaba tanto tiempo soñando y mirando las estrellas que una vez se cayó en un pozo. Posiblemente usando datos de babilonios anteriores, en 585 antes de Cristo, Tales predijo un eclipse solar, demostrando el poder de un enfoque científico.

La antigua Grecia no era un solo país, sino más bien una colección suelta de ciudades-estado. Mileto (ahora en Turquía) fue el lugar de nacimiento de varios filósofos destacados. Muchos otros filósofos griegos tempranos estudiaron en Atenas. Aquí, Aristóteles fue un observador astuto, pero no realizó experimentos; creía que, si podía reunir a suficientes hombres inteligentes, la verdad saldría a la luz. El ingeniero Arquímedes, que vivía en Siracusa, en la isla de Sicilia, exploró las propiedades de los fluidos. Se desarrolló un nuevo centro de aprendizaje en Alejandría, fundado en la desembocadura del Nilo por Alejandro Magno en 331.antes de Cristo. Aquí Eratóstenes midió el tamaño de la Tierra, Ctesibius hizo relojes precisos y Hero inventó la máquina de vapor. Mientras tanto, los bibliotecarios de Alejandría recolectaron los mejores libros que pudieron encontrar para construir la mejor biblioteca del mundo, que se incendió cuando los romanos y los cristianos tomaron la ciudad.

Ciencia en Asia

La ciencia floreció de forma independiente en China. Los chinos inventaron la pólvora, y con ella los fuegos artificiales, los cohetes y las pistolas, y fabricaron fuelles para trabajar el metal. Inventaron el primer sismógrafo y la primera brújula. en 1054CE,

Eratóstenes, amigo de Arquímedes, calcula **la circunferencia de Tierra**de las sombras del sol al mediodía en día de verano.



c.240antes de Cristo

Hiparco descubre **la precesión de la órbita de la tierra**y compila el western la primera estrella del mundo Catálogo.



c.130antes de Cristo

de Claudio Ptolomeo *Almagesto*se convierte en el **texto autorizado sobre astronomía**en el West, aunque contiene muchos errores.



c.150CE

astrónomo persa, Abd al-Rahman al-Sufi actualiza el *Almagesto*, y**da muchas estrellas la nombres árabes** usado hoy.



964

c.230antes de Cristo



Ctesibio construye clepsidras—**agua relojes**—que quedan por los siglos más relojes precisos en el mundo.

c.120CE



En China, Zhang Heng analiza la naturaleza de los eclipses y compila **un catalogo de 2500 estrellas**.

628



matemático indio Contornos de Brahmagupta las primeras reglas a utilizar **el numero cero**.

1021



Alhazen, uno de los primer experimento científicos, conductas investigaciones originales sobre **visión y óptica**.

Los astrónomos chinos observaron una supernova, que fue identificada como la Nebulosa del Cangrejo en 1731.

Algunas de las tecnologías más avanzadas del primer milenio CE, incluida la rueca, se desarrolló en la India y se enviaron misiones chinas para estudiar las técnicas agrícolas indias. Los matemáticos indios desarrollaron lo que ahora llamamos el sistema numérico "árabe", que incluye números negativos y cero, y dieron definiciones de las funciones trigonométricas seno y coseno.

La edad de oro del Islam

A mediados del siglo VIII, el califato abasí islámico trasladó la capital de su imperio de Damasco a Bagdad. Guiado por el lema coránico "La tinta de un erudito es más sagrada que la sangre de un mártir", el califa Harun al-Rashid fundó la Casa de la Sabiduría en su nueva capital, con la intención de que fuera una biblioteca y un centro de investigación. Los eruditos recopilaron libros de las antiguas ciudades estado griegas y de la India y los tradujeron al árabe. Así es como muchos de los textos antiguos llegarían eventualmente a Occidente, donde eran en gran parte desconocidos en la Edad Media. A mediados del siglo IX, la biblioteca de Bagdad se había convertido en una excelente sucesora de la biblioteca de Alejandría.

Entre los que se inspiraron en la Casa de la Sabiduría se encontraban varios astrónomos, en particular al-Sufi, que se basó en el trabajo de Hiparco y Ptolomeo. La astronomía fue de utilidad práctica para los nómadas árabes para la navegación, ya que conducían sus camellos por el desierto de noche.

Alhazen, nacido en Basora y educado en Bagdad, fue uno de los primeros científicos experimentales, y su libro sobre óptica ha sido comparado en importancia con el trabajo de Isaac Newton. Los alquimistas árabes idearon la destilación y otras técnicas nuevas, y acuñaron palabras como álcali, aldehído y alcohol. El médico al-Razi introdujo el jabón, distinguió por primera vez entre la viruela y el sarampión, y escribió en uno de sus muchos libros: "El objetivo del médico es hacer el bien, incluso a nuestros enemigos". Al-Khwarizmi y otros matemáticos inventaron el álgebra y los algoritmos; y

El ingeniero al-Jazari inventó el sistema biela-manivela, que todavía se usa en bicicletas y automóviles. Los científicos europeos tardarían varios siglos en ponerse al día con estos desarrollos.



ECLIPSES DE EL SOL PUEDE SER PREDECIDO

TALES DE MILETO (624–546antes de Cristo)

EN CONTEXTO

RAMA
Astronomía

ANTES
c.2000antes de Cristoeuropeo monumentos como Stonehenge puede haber sido utilizado para calcular eclipses.

c.1800antes de Cristo En la antigua Babilonia, los astrónomos produjeron el primer registro matemático descripción del movimiento de los cuerpos celestes.

2do milenioantes de Cristo astrónomos babilónicos desarrollar métodos para predecir eclipses, pero estos se basan en observaciones de la Luna, no en ciclos matemáticos.

DESPUÉS
c.140antes de Cristo El astrónomo griego Hiparco desarrolla un sistema para predecir eclipses utilizando el ciclo Saros de movimientos del Sol y la Luna.

B Nacido en una colonia griega en Asia Menor, Tales de Mileto a menudo se considera el fundador de la filosofía occidental, pero también fue una figura clave en el desarrollo temprano de la ciencia. Fue reconocido en vida por su pensamiento sobre matemáticas, física y astronomía.

Quizás el logro más famoso de Tales es también el más controvertido. Según el historiador griego Heródoto, escribiendo más de un siglo después del evento, se dice que Tales predijo una eclipse solar, ahora fechado el 28 de mayo de 585antes de Cristo, que detuvo una batalla entre los beligerantes lidios y medos.



...el día se hizo noche, y este cambio del día Tales el Milesian había predicho...
Herodoto



historia disputada

El logro de Tales no se repetiría durante varios siglos, y los historiadores de la ciencia han discutido durante mucho tiempo sobre cómo lo logró, e incluso si lo logró. Algunos argumentan que el relato de Herodoto es inexacto y vago, pero la hazaña de Tales parece haber sido ampliamente conocida y fue tomada como un hecho por escritores posteriores, quienes supieron tratar la palabra de Herodoto con cautela. Suponiendo que sea cierto, es probable que Tales haya descubierto un ciclo de 18 años en los movimientos del Sol y la Luna, conocido como el ciclo de Saros, que fue utilizado por astrónomos griegos posteriores para predecir eclipses.

Cualquiera que sea el método que usó Tales, su predicción tuvo un efecto dramático en la batalla en el río Halys, en la actual Turquía. El eclipse puso fin no solo a la batalla, sino también a una guerra de 15 años entre los medos y los lidios.

Ver también: Zhang Heng 26-27 · Nicolás Copérnico 34–39 · Johannes Kepler 40–41 Jeremías Horrocks 52



AHORA ESCUCHA EL RAÍCES CUÁDRUPLES DE TODO

EMPÉDOCULOS (490–430 antes de Cristo)

EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES

c.585 antes de Cristo Tales sugiere que el mundo entero está hecho de agua.

c.535 antes de Cristo Anaxímenes piensa que todo está hecho de aire, del cual se hacen el agua y luego las piedras.

DESPUÉS

c.400 antes de Cristo El pensador griego Demócrito propone que, en última instancia, el mundo está hecho de diminutas partículas indivisibles: átomos.

1661 En su trabajo *Químico escéptico*, Robert Boyle proporciona una definición de elementos.

1808 La teoría atómica de John Dalton establece que cada elemento tiene átomos de diferentes masas.

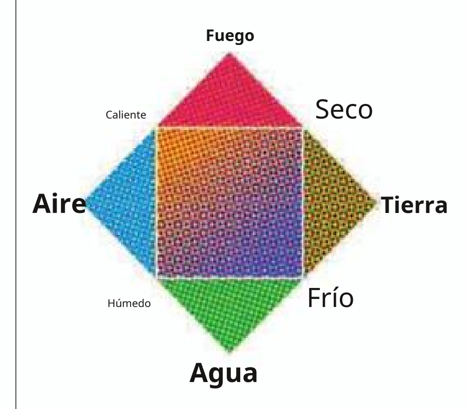
1869 Dmitri Mendeleiev propone una tabla periódica, ordenando los elementos en grupos según sus propiedades compartidas.

La naturaleza de la materia preocupó a muchos antiguos pensadores griegos. Teniendo visto agua líquida, hielo sólido y niebla gaseosa, Tales de Mileto creía que todo debía estar hecho de agua. Aristóteles sugirió que "el alimento de todas las cosas es húmedo e incluso lo caliente se crea a partir de lo húmedo y vive de ello". Escribiendo dos generaciones después de Tales, Anaxímenes sugirió que el mundo está hecho de aire, razonando que cuando el aire se condensa produce niebla, luego lluvia y eventualmente piedras.

Nacido en Agrigentum en la isla de Sicilia, el médico y poeta Empédocles ideó una teoría más compleja: que todo está hecho de cuatro raíces (no usó la palabra elementos), a saber, tierra, aire, fuego y agua. La combinación de estas raíces produciría cualidades como el calor y la humedad para hacer tierra, piedra y todas las plantas y animales. Originalmente, las cuatro raíces formaban una esfera perfecta, unidas por el amor, la fuerza centrípeta. Pero poco a poco la lucha, el fuerza centrífuga, comenzó a separarlos. Para Empédocles, el amor y la lucha son las dos fuerzas que dan forma al universo. En este mundo, la lucha tiende a predominar, razón por la cual la vida es tan difícil.

Esta teoría relativamente simple dominó el pensamiento europeo, que se refería a los "cuatro humores", con poco refinamiento hasta el desarrollo de la química moderna en el siglo XVII.

Empédocles vio las cuatro raíces de la materia como dos pares de opuestos: fuego/agua y aire/tierra, que se combinan para producir todo lo que vemos.



Ver también: Roberto Boyle 46–49 · Juan Dalton 112–13 · Dmitri Mendeleiev 174–79



MEDICIÓN DE LA CIRCUNFERENCIA

DE LA TIERRA

ERATOSTENES (276-194antes de Cristo)

EN CONTEXTO

RAMA
Geografía

ANTES
siglo VIantes de Cristo El matemático griego Pitágoras sugiere que la Tierra puede ser esférica, no plana.

siglo terceroantes de Cristo
Aristarco de Samos es el primero en colocar el Sol en el centro del universo conocido y utiliza un método trigonométrico para estimar los tamaños relativos del Sol y la Luna y sus distancias a la Tierra.

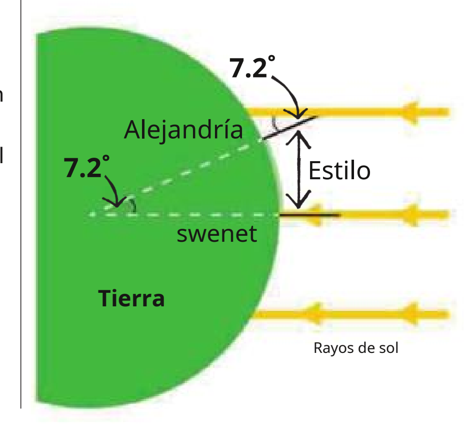
Finales del siglo IIIantes de Cristo
Eratóstenes introduce los conceptos de paralelos y meridianos en sus mapas (equivale a moderno longitud y latitud).

DESPUÉS
siglo 18 La verdadera circunferencia y forma de la Tierra se encuentra gracias a los enormes esfuerzos de científicos franceses y españoles.

Tel astrónomo griego y matemático Eratóstenes es mejor
Se le recuerda como la primera persona en medir el tamaño de la Tierra, pero también se le considera el fundador de la geografía, no solo acuñó la palabra, sino que también estableció muchos de los principios básicos que se utilizan para medir ubicaciones en nuestro planeta. Nacido en Cirene (en la actual Libia), Eratóstenes viajó mucho por el mundo griego, estudió en Atenas y Alejandría y finalmente se convirtió en el bibliotecario de la Gran Biblioteca de Alejandría.

Fue en Alejandría donde Eratóstenes escuchó un informe de que en la ciudad de Swenet, al sur de Alejandría, el Sol pasaba directamente sobre su cabeza en el solsticio de verano (el día más largo del año, cuando el Sol sale más alto en el cielo). Suponiendo que el Sol estaba tan distante que sus rayos eran casi paralelos entre sí cuando golpeaban la Tierra, usó una barra vertical o "gnomon".
proyectar la sombra del Sol en el mismo momento en Alejandría. Aquí, determinó, el Sol estaba 7,2° al sur del cenit, que es 1/50 de la circunferencia de un círculo. Por lo tanto, razonó, la separación de las dos ciudades a lo largo de un meridiano norte-sur debe ser 1/50 de la circunferencia de la Tierra. Esto le permitió calcular el tamaño de nuestro planeta en 230 000 estadios, o 24 662 millas (39 690 km), un error de menos del 2 por ciento.

La luz del sol llegó a Sweneten ángulo recto, pero proyecta una sombra en Alejandría. El ángulo de la sombra proyectada por el gnomon permitió a Eratóstenes calcular la circunferencia de la Tierra.



Ver también: Nicolás Copérnico 34–39 Johannes Kepler 40–41



EL HUMANO ES RELACIONADO A LA SERES INFERIORES

AL-TUSI (1201-1274)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
c.550antes de Cristo Anaximandro de Mileto propone que la vida animal comenzó en el agua y evolucionó a partir de ahí.

c.340antes de Cristo La teoría de las formas de Platón sostiene que las especies son inmutables.

c.300antes de Cristo Epicuro dice que en el pasado se han creado muchas otras especies, pero solo las más exitosas sobreviven para tener descendencia.

DESPUÉS
1377 Ibn Khaldun escribe en *Muqaddimah*que los humanos desarrollado a partir de monos.

1809 Jean-Baptiste Lamarck propone una teoría de la evolución de las especies.

1858 Alfred Russel Wallace y Charles Darwin sugieren una teoría de la evolución por medio de la selección natural.

A Erudito persa nacido en Bagdad en 1201, durante la Edad de Oro del Islam, Nazir al-Din al-Tusi fue poeta, filósofo, matemático y astrónomo, y uno de los primeros en proponer un sistema de evolución. Sugirió que el universo alguna vez estuvo compuesto por elementos idénticos que se separaron gradualmente, algunos se convirtieron en minerales y otros cambiaron más rápidamente, convirtiéndose en plantas y animales.

En*Akhlaq-i-Nasri*, el trabajo de al-Tusi sobre ética, estableció una jerarquía de formas de vida, en la que los animales estaban por encima de las plantas y los humanos estaban por encima de otros animales. Consideró la voluntad consciente de los animales como un paso hacia la conciencia de los humanos. Los animales pueden moverse conscientemente para buscar comida y pueden aprender cosas nuevas. En esta capacidad de aprender, al-Tusi vio la capacidad de razonar: "El caballo adiestrado o el halcón de caza está en un punto más alto de desarrollo en el mundo animal", dijo, y agregó: "A partir de aquí comienzan los primeros pasos de la perfección humana".



Los organismos que pueden obtener las nuevas características más rápido son más variables. Como resultado, obtienen ventajas sobre otras criaturas.
al-Tusi



Al-Tusi creía que los organismos cambiaban con el tiempo y veía en ese cambio una progresión hacia la perfección. Pensó en los humanos como si estuvieran en un "paso intermedio de la escalera evolutiva", potencialmente capaces por medio de su voluntad de alcanzar un nivel de desarrollo superior. Fue el primero en sugerir que no solo los organismos cambian con el tiempo, sino que toda la gama de la vida ha evolucionado desde una época en la que no había vida en absoluto.

Ver también: Carlos Linneo 74–75 Jean-Baptiste Lamarck 118
Carlos Darwin 142–49 Bárbara McClintock 271



UN OBJETO FLOTANTE DESPLAZA A LOS SUYOS VOLUMEN EN LÍQUIDO

ARQUÍMEDES (287-212antes de Cristo)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
3er milenioantes de Cristo Los trabajadores metalúrgicos descubren que fundir metales y mezclarlos produce una aleación que es más fuerte que cualquiera de los metales originales.

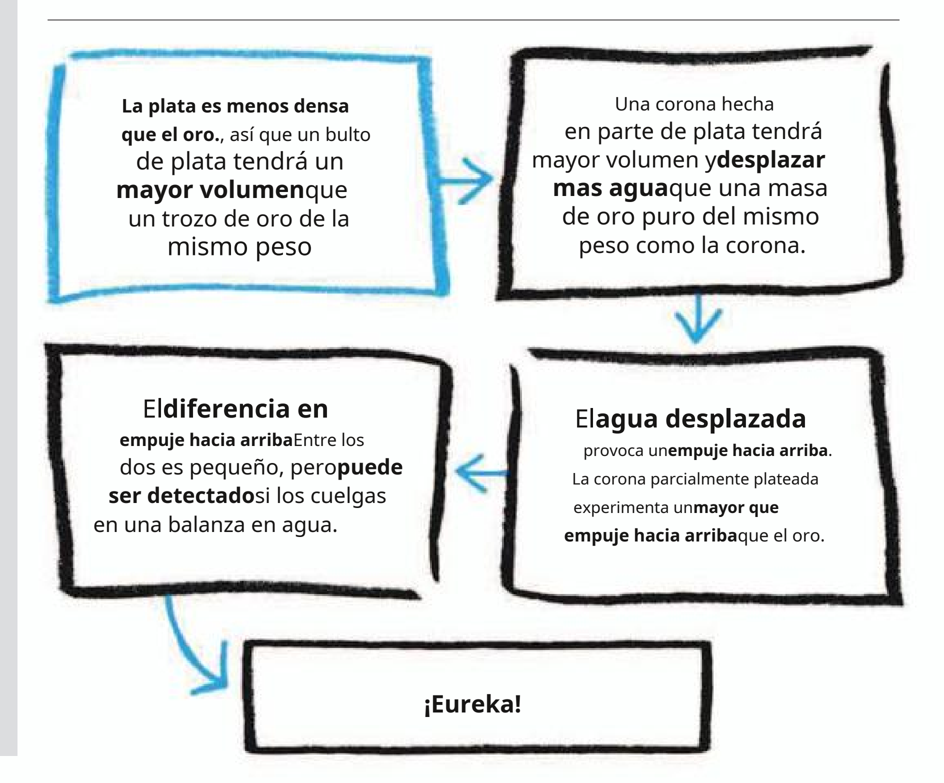
600antes de Cristo En la antigua Grecia, las monedas estaban hechas de una aleación de oro y plata llamada electrum.

DESPUÉS
1687 En su*Principios matemáticos*, Isaac Newton describe su teoría de la gravedad y explica cómo existe una fuerza que atrae todo hacia el centro de la Tierra, y viceversa.

1738 El matemático suizo Daniel Bernoulli desarrolla su teoría cinética de los fluidos, explicando cómo los fluidos ejercen presión sobre los objetos por el movimiento aleatorio de moléculas en el fluido.

T El autor romano Vitruvio, escribiendo en el siglo I antes de Cristo, relata la historia posiblemente apócrifa de un incidente ocurrido dos siglos antes. Hierón II, el rey de Sicilia, había encargado una nueva corona de oro. Cuando se entregó la corona, Hierón sospechó que el fabricante de la corona había sustituido parte del oro por plata, fundiendo la plata con el oro restante para que el color pareciera el mismo que el oro puro.
El rey le pidió a su principal científico, Arquímedes, que investigara.

Arquímedes se quedó perplejo ante el problema. La nueva corona era preciosa y no debía dañarse.



Ver también: Nicolás Copérnico 34–39 · Isaac Newton 62–69

de cualquier manera. Fue a los baños públicos de Siracusa para reflexionar sobre el problema. El baño estaba lleno hasta el borde, y cuando se metió, notó dos cosas: el nivel del agua subió, haciendo que un poco de agua se derramara por el costado, y se sintió ingrávido. Gritó "¡Eureka!" (¡He encontrado la respuesta!) y corrí a casa completamente desnudo.

Volumen de medición

Arquímedes se había dado cuenta de que si metía la corona en un balde lleno hasta el borde de agua, desplazaría un poco de agua exactamente en la misma cantidad que su propio volumen, y podía medir la cantidad de agua que se derramaba. Esto le diría el volumen de la corona. La plata es menos densa que el oro, por lo que una corona de plata del mismo peso sería más grande que una corona de oro y desplazaría más agua. Por tanto, una corona adulterada desplazaría más agua que una corona de oro puro, y más que un trozo de oro del mismo peso. En la práctica, el efecto habría sido pequeño y difícil de medir. Pero Arquímedes también había se dio cuenta de que cualquier objeto sumergido en un líquido experimenta un empuje hacia arriba (fuerza hacia arriba) igual al peso del líquido que ha desplazado.

Arquímedes probablemente resolvió el rompecabezas colgando la corona y un peso igual de oro puro en los extremos opuestos de un palo, que luego suspendió por el centro para que los dos pesos se equilibraran. Luego lo sumergió todo en un baño de agua. Si la corona fuera de oro puro, tanto ella como el trozo de oro experimentarían un empuje igual hacia arriba y el palo permanecería horizontal. Sin embargo, si la corona contenía algo de plata, el volumen de la corona sería mayor que el volumen del trozo de oro: la corona desplazaría más agua y la vara se inclinaría bruscamente.

La idea de Arquímedes se conoció como el principio de Arquímedes, que establece que el empuje hacia arriba de un objeto en un fluido es igual al peso del fluido que desplaza el objeto. Este principio explica cómo los objetos hechos de material denso aún pueden flotar en el agua. Un barco de acero que pesa una tonelada se hundirá hasta



Un sólido más pesado que un fluido, si se coloca en él, descenderá al fondo del fluido, y el sólido, cuando se pesa en el fluido, será más ligero que su verdadero peso por el peso de el fluido desplazado.

Arquímedes



ha desplazado una tonelada de agua, pero luego no se hundirá más. Su casco profundo y hueco tiene un mayor volumen y desplaza más agua que un trozo de acero del mismo peso y, por lo tanto, se mantiene a flote con un mayor empuje hacia arriba.

Vitruvio nos dice que efectivamente se encontró que la corona de Hierón contenía algo de plata, y que el fabricante de la corona fue debidamente castigado.

Arquímedes



Arquímedes fue posiblemente el mayor matemático del mundo antiguo. Nacido alrededor de 287 antes de Cristo, fue asesinado por un soldado cuando los romanos tomaron su ciudad natal, Siracusa, en 212 antes de Cristo. Había ideado varias armas temibles para mantener a raya a los barcos de guerra romanos que atacaban Siracusa: una catapulta, una grúa para levantar la proa de un barco fuera del agua y una matriz letal de espejos para enfocar los rayos del sol y prender fuego a un barco. El probablemente inventó el tornillo de Arquímedes, que aún hoy se utiliza para el riego, durante una estancia en Egipto.

Arquímedes también calculó una aproximación para pi (la relación entre la circunferencia de un círculo y su diámetro) y escribió las leyes de las palancas y poleas. El logro del que Arquímedes estaba más orgulloso era una prueba matemática de que el cilindro más pequeño en el que puede caber cualquier esfera dada tiene exactamente 1,5 veces el volumen de la esfera. Una esfera y un cilindro están tallados en la lápida de Arquímedes.

Obra clave

c.250 antes de Cristo *Sobre cuerpos flotantes*



EL SOL ES COMO FUEGO, LA LUNA ES COMO EL AGUA

ZHANG HENG (78–139CE)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
140antes de Cristo Hiparco descubre cómo predecir eclipses.

150CE Ptolomeo mejora el trabajo de Hiparco y produce tablas prácticas para calcular las posiciones futuras de los cuerpos celestes.

DESPUÉS
Siglo 11 Shen Kuo escribe el *Ensayos de la piscina de los sueños*, en el que utiliza la luna creciente y menguante para demostrar que todos los cuerpos celestes (aunque no la Tierra) son esféricos.

1543 Nicolás Copérnico publica *Sobre las revoluciones de las esferas celestes*, en el que describe un sistema heliocéntrico.

1609 johannes kepler explica los movimientos de los planetas como cuerpos que flotan libremente describiendo elipses.



In alrededor de 140antes de Cristo, el astrónomo griego Hiparco, probablemente el mejor astrónomo del mundo antiguo, compiló un catálogo de unas 850 estrellas. También explicó cómo predecir los movimientos del Sol y la Luna y las fechas de los eclipses. En su trabajo *Almagesto* de unos 150CE, Ptolomeo de Alejandría enumeró 1.000 estrellas y 48 constelaciones. La mayor parte de este trabajo era efectivamente una versión actualizada de lo que había escrito Hiparco, pero en una forma más práctica. En Occidente, el *Almagesto* se convirtió en el texto de astronomía estándar a lo largo de la Edad Media. Sus tablas incluían toda la información necesaria para calcular las posiciones futuras del Sol y la Luna, los planetas y las estrellas principales, y también los eclipses de Sol y Luna.

en 120CE, el erudito chino Zhang Heng produjo una obra titulada *Ling Xian*, o *La Constitución Espiritual del Universo*. En él, escribió que “el cielo es como un huevo de gallina, y es tan redondo como una bolita de ballesta, y la Tierra es como la yema del huevo, yace sola en el centro. El cielo es grande y la Tierra pequeña”. Este fue, siguiendo a Hiparco y Ptolomeo, un universo

Ver también: Nicolás Copérnico 34–39 · Johannes Kepler 40–41 · Isaac Newton 62–69



La luna y los planetas son Yin; tienen forma pero sin luz.
colmillo jing



con la Tierra en su centro. Zhang catalogó 2.500 estrellas "brillantes" y 124 constelaciones, y agregó que "de las estrellas muy pequeñas hay 11.520".

Eclipses de Luna y planetas

Zhang estaba fascinado por los eclipses. Escribió: "El Sol es como el fuego y la Luna como el agua. El fuego da luz y el agua la refleja. Así, el brillo de la Luna se produce a partir del resplandor de la Sol, y la oscuridad de la Luna se debe a que la luz del Sol está obstruida. El lado que mira hacia el Sol está completamente iluminado, y el lado que está lejos está oscuro". Zhang también describió un eclipse lunar, donde la luz del Sol no puede llegar a la Luna porque la Tierra está en el camino. Reconoció que los planetas también eran "como el agua", que reflejaban la luz, por lo que también estaban sujetos a los eclipses: "Cuando [un efecto similar] ocurre con un planeta, lo llamamos ocultación; cuando la Luna cruza la trayectoria del Sol, entonces hay un eclipse solar".

En el siglo XI, otro astrónomo chino, Shen Kuo, amplió el trabajo de Zhang en un aspecto significativo. Mostró que las observaciones de la luna creciente y menguante demostraban que los cuerpos celestes eran esféricos.

El contorno de la media luna de Venus está a punto de ser ocultada por la Luna. Las observaciones de Zhang lo llevaron a concluir que, al igual que la Luna, los planetas no producían su propia luz.





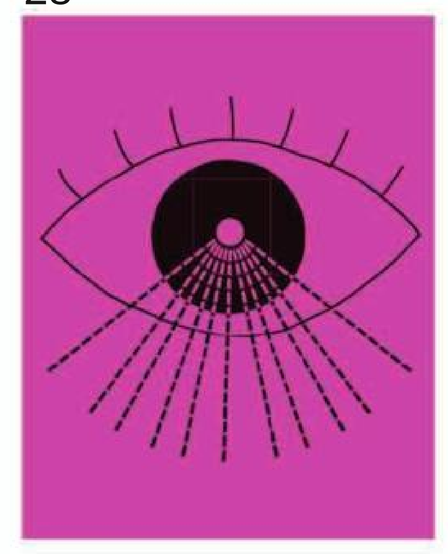
zhang heng

Zhang Heng nació en 78 CE en la ciudad de Xi'e, en lo que ahora es la provincia de Henan, en la dinastía Han de China. A los 17, se fue de casa para estudiar literatura y formarse como escritor. A finales de sus 20 años, Zhang se había convertido en un hábil matemático y fue llamado a la corte del emperador An-ti, quien, en 115 CE, lo nombró astrólogo jefe.

Zhang vivió en una época de rápidos avances en la ciencia. Además de su trabajo astronómico, ideó una esfera armilar impulsada por agua (un modelo de los objetos celestes) e inventó el primer sismómetro del mundo, que fue ridiculizado hasta que, en 138 CE, registró con éxito un terremoto a 250 millas (400 km) de distancia. También inventó el primer odómetro para medir las distancias recorridas en vehículos y una brújula no magnética que apunta al sur en forma de carro. Zhang fue un poeta distinguido, cuyas obras nos dan una visión vívida de la vida cultural de su época.

Trabajos clave

c.120 CE *La Constitución Espiritual del Universo*
c.120 CE *El mapa de Ling Xian*



LA LUZ VIAJA EN LÍNEAS RECTAS EN NUESTROS OJOS

ALHAZÉN (c. 965–1040)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES

350antes de Cristo Aristóteles argumenta que la visión se deriva de las formas físicas que ingresan al ojo desde un objeto.

300antes de Cristo Euclid argumenta que el ojo envía rayos que rebotan en el ojo.

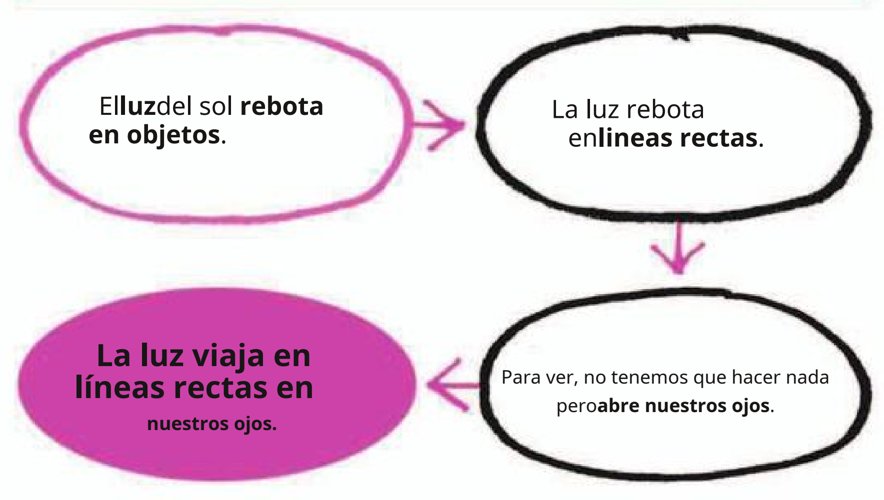
980s Ibn Sahl investiga la refracción de la luz y deduce las leyes de la refracción.

DESPUÉS

1240 El obispo inglés Robert Grosseteste utiliza la geometría en sus experimentos con la óptica y describe con precisión la naturaleza del color.

1604 La teoría de la imagen retiniana de Johannes Kepler se basa directamente en el trabajo de Alhazen.

1620 Las ideas de Alhazén influyó en Francis Bacon, quien aboga por un método científico basado en la experimentación.

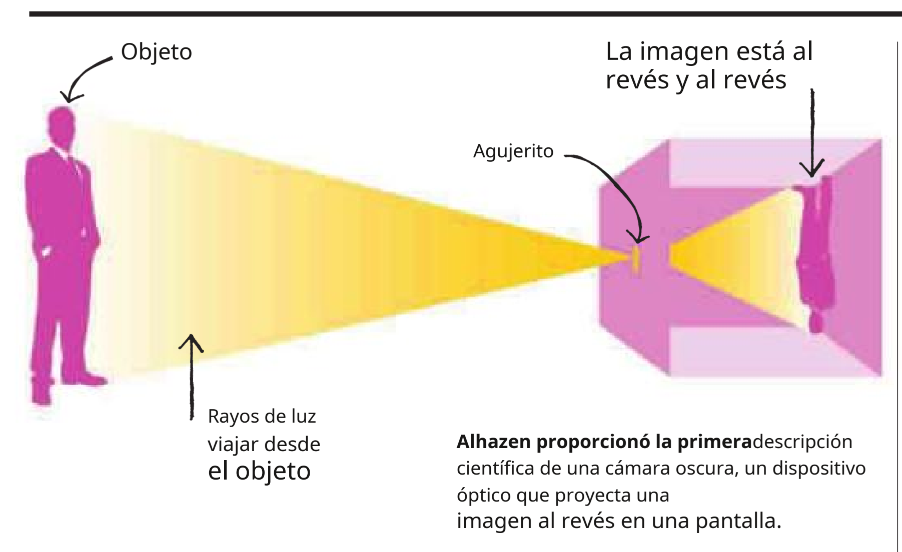


T El astrónomo y matemático árabe Alhazen, que vivía en Bagdad, en el actual Irak, durante la Edad de Oro de la civilización islámica, podría decirse que fue el primer científico experimental del mundo. Si bien los primeros pensadores griegos y persas habían explicado el mundo natural de varias maneras, habían llegado a sus conclusiones a través del razonamiento abstracto, no a través de experimentos físicos. Alhazen, trabajando en una próspera cultura islámica de curiosidad e investigación, fue el primero en utilizar lo que ahora llamamos el método científico: establecer hipótesis y probándolos metódicamente con experimentos. Como él observó: “El buscador de la verdad no es el que estudia los escritos de los antiguos y... pone su confianza en ellos, sino el que sospecha de su fe en ellos y cuestiona lo que recoge de ellos, el que se somete a argumento y demostración.”

Comprender la visión

Alhazen es recordado hoy como uno de los fundadores de la ciencia de la óptica. Sus obras más importantes fueron los estudios sobre la estructura del ojo y el proceso de la visión. El

Ver también: Johannes Kepler 40–41 · francisco tocino 45 Christian Huygens 50–51 · Isaac Newton 62–69



Alhazen proporcionó la primera descripción científica de una cámara oscura, un dispositivo óptico que proyecta una imagen al revés en una pantalla.

Los eruditos griegos Euclides y, más tarde, Ptolomeo creían que la visión se derivaba de "rayos" que salían del ojo y rebotaban en lo que la persona estaba mirando. Alhazen mostró, a través de la observación de las sombras y el reflejo, que la luz rebota en los objetos y viaja en línea recta hacia nuestros ojos. La visión era un fenómeno pasivo, más que activo, al menos hasta que alcanzaba la retina. Señaló que, "de cada punto de todo cuerpo coloreado, iluminado por cualquier luz, sale luz y color a lo largo de toda línea recta que se pueda trazar desde ese punto".

Para ver las cosas, solo tenemos que abrir los ojos para que entre la luz. No hay necesidad de que el ojo emita rayos, incluso si pudiera.

Alhazen también descubrió, a través de sus experimentos con ojos de buey, que la luz entra por un pequeño orificio (la pupila) y se enfoca mediante una lente sobre una superficie sensible (la retina) en la parte posterior del ojo. Sin embargo, aunque reconoció el ojo como una lente, no explicó cómo el ojo o el cerebro forman una imagen.

Experimentos con la luz

Monumental de Alhazen, siete volúmenes *libro de óptica* expuso su teoría de la luz y su teoría de la visión. Siguió siendo la principal autoridad en el tema hasta la llegada de Newton. *principios* se publicó 650 años después. El libro explora la interacción de la luz con las lentes y describe el fenómeno de la refracción (cambio en la dirección) de la luz, 700 años antes de la ley de refracción del científico holandés Willebrord van Roijen Snell. También examina la refracción de la luz por la atmósfera y describe sombras, arcoíris y eclipses. *Óptica* influyó mucho en los científicos occidentales posteriores, incluido Francis Bacon, uno de los científicos responsables de revivir el método científico de Alhazen durante el Renacimiento en Europa.



El deber del hombre que investiga la escritos de científicos, si aprender la verdad es su objetivo, es hacerse enemigo de todo lo que lee.
Alhazén



Alhazén

Abu Ali al-Hassan ibn al-Haytham (conocido en Occidente como Alhazen) nació en Basora, en el actual Irak, y se educó en Bagdad. Cuando era joven, le dieron un trabajo en el gobierno de Basora, pero pronto se aburrió. Una historia cuenta que, al enterarse de los problemas derivados de la crecida anual del Nilo en Egipto, escribió al califa al-Hakim ofreciéndole construir una presa para regular el diluvio, y fue recibido con honor en El Cairo. Sin embargo, cuando él viajó al sur de la ciudad y vio el gran tamaño del río, que tiene casi 1 milla (1,6 km) de ancho en Asuán; se dio cuenta de que la tarea era imposible con la tecnología disponible en ese momento. Para evitar el castigo del califa, fingió locura y permaneció bajo arresto domiciliario durante 12 años. En ese tiempo hizo su obra más importante.

Trabajos clave

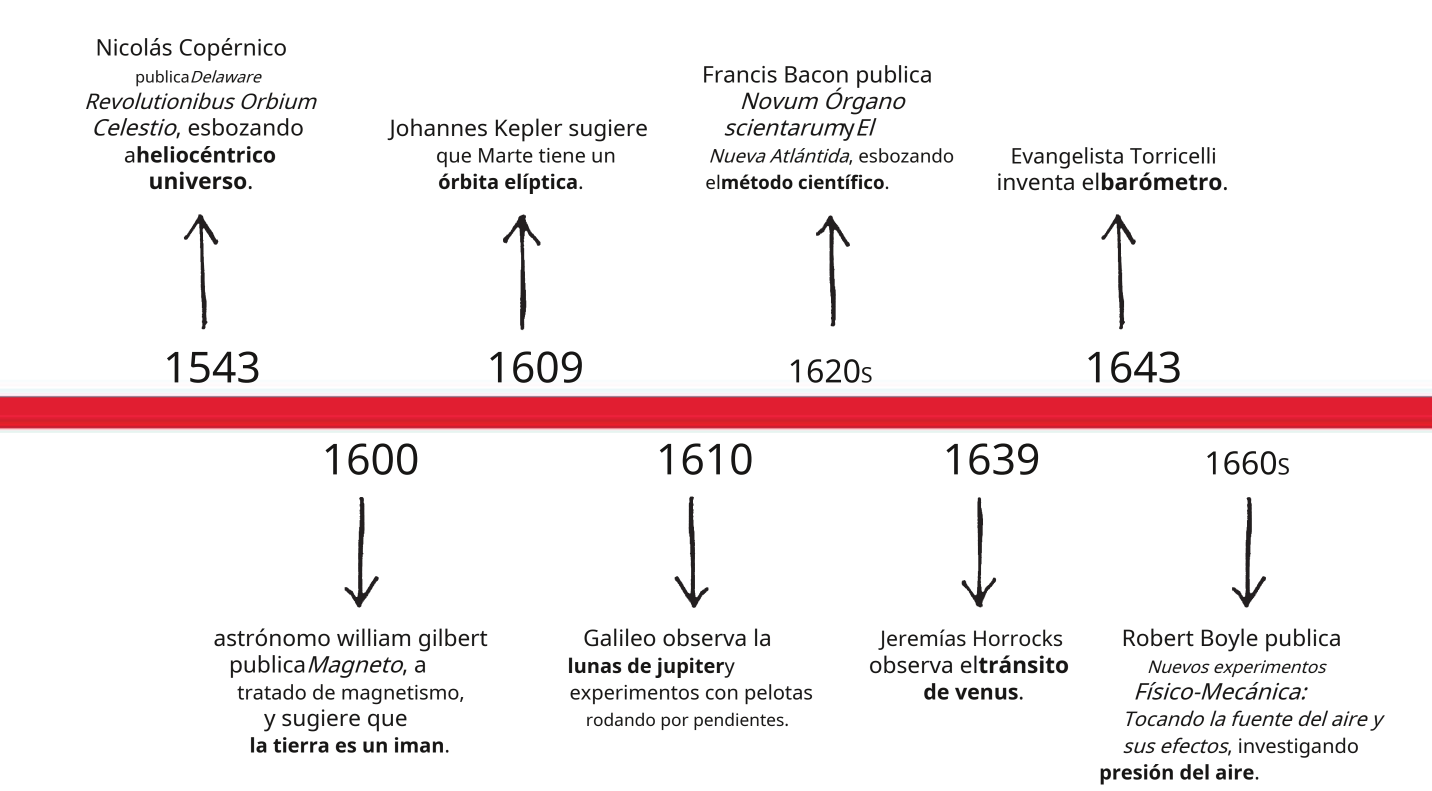
1011–21 *libro de óptica*
c.1030 *Un discurso sobre la luz*
c.1030 *A la luz de la luna*

CIENTÍFICOS

REVOLÚ

1400-1700

FICCIÓN



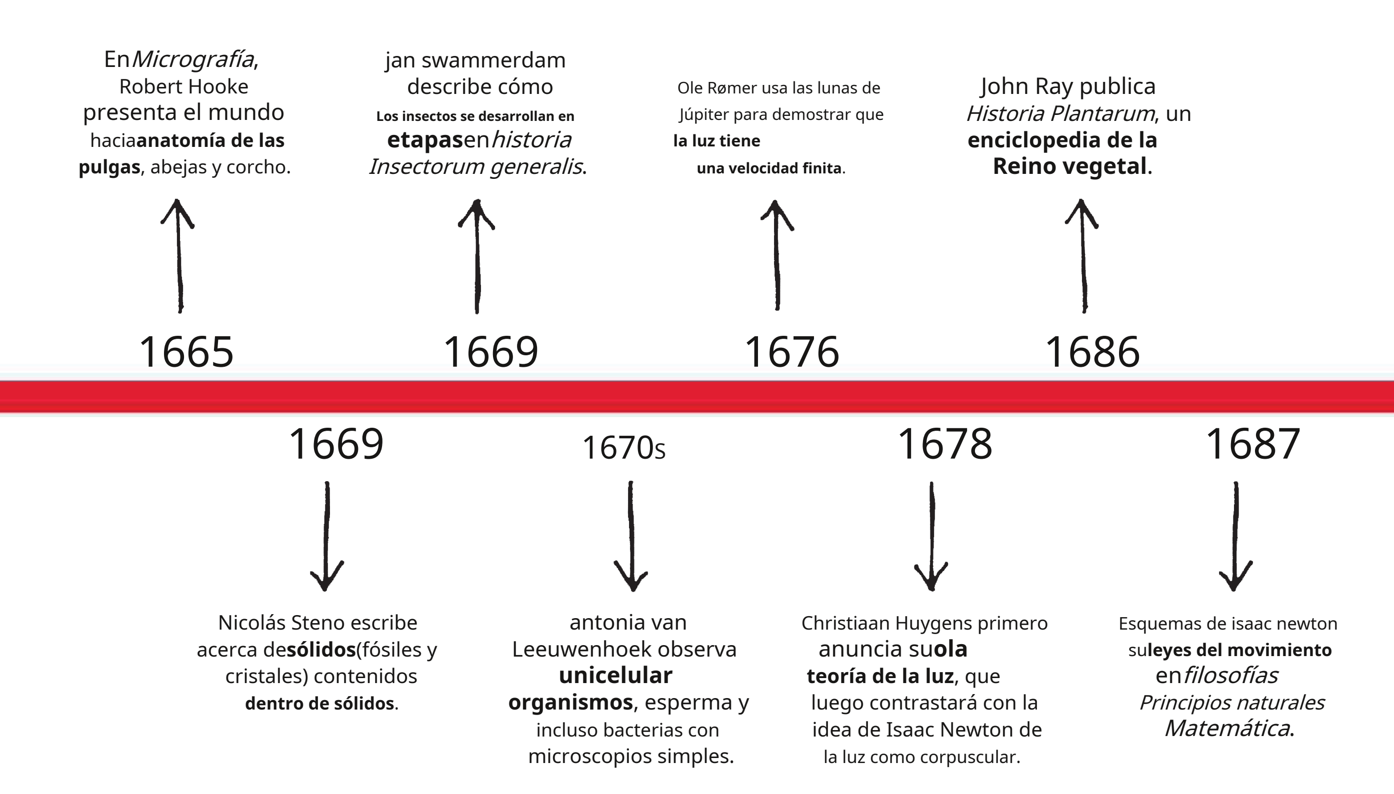
Ta edad de oro islámica fue un gran florecimiento de las ciencias y las artes que comenzó en la capital del califato abasí, Bagdad, a mediados del siglo VIII y duró unos 500 años. Sentó las bases para la experimentación y el método científico moderno. En el mismo período en Europa, sin embargo, pasaron varios cientos de años antes de que el pensamiento científico superara las restricciones del dogma religioso.

pensamiento peligroso

Durante siglos, la visión del universo de la Iglesia Católica se basó en la idea de Aristóteles de que la Tierra estaba en el centro orbital de todos los cuerpos celestes. Luego, alrededor de 1532, después de años de luchar con sus complejas matemáticas, el médico polaco Nicolás Copérnico completó su modelo herético del universo que tenía al Sol en su centro. Consciente de la herejía, tuvo cuidado de afirmar que era solo un modelo matemático, y esperó hasta que estuvo al borde de la muerte antes de publicarlo, pero el modelo copernicano ganó rápidamente muchos defensores. El astrólogo alemán Johannes Kepler refinó la teoría de Copérnico utilizando las observaciones de su mentor danés Tycho Brahe y calculó que las órbitas de Marte y, por inferencia, los otros planetas eran elipses. Los telescopios mejorados permitieron al erudito italiano Galileo Galilei identificar cuatro lunas de Júpiter en 1610. El poder explicativo de la nueva cosmología se estaba volviendo innegable.

Galileo también demostró el poder de los experimentos científicos, investigando la física de la caída objetos e idear el péndulo como un cronometrador efectivo, que el holandés Christiaan Huygens usó para construir el primer reloj de péndulo en 1657. El filósofo inglés Francis Bacon escribió dos libros que exponen sus ideas para un método científico y el teórico
Se desarrollaron las bases para la ciencia moderna, basadas en la experimentación, la observación y la medición.

Los nuevos descubrimientos siguieron gruesos y rápidos. Robert Boyle usó una bomba de aire para investigar las propiedades del aire, mientras que Huygens y el físico inglés Isaac Newton propusieron teorías opuestas sobre cómo viaja la luz, estableciendo la ciencia de la óptica. El astrónomo danés Ole Rømer notó discrepancias en el horario de los eclipses de las lunas de Júpiter y las usó para calcular un valor aproximado.



por la velocidad de la luz. El compatriota de Rømer, el obispo Nicolas Steno, se mostró escéptico ante gran parte de la sabiduría antigua y desarrolló sus propias ideas tanto en anatomía como en geología. Estableció los principios de la estratigrafía (el estudio de las capas de roca), estableciendo un nuevo

base científica de la geología.

micromundos

A lo largo del siglo XVII, los avances tecnológicos impulsaron el descubrimiento científico a la escala más pequeña. A principios del siglo XVII, los fabricantes de anteojos holandeses
desarrolló los primeros microscopios y, más tarde ese mismo siglo, Robert Hooke construyó el suyo propio e hizo hermosos dibujos de sus hallazgos, revelando la intrincada estructura de pequeños insectos como las pulgas por primera vez. Dueño de una tienda de telas holandesa Antonie van Leeuwenhoek, tal vez inspirado por los dibujos de Hooke, hizo cientos de sus propios microscopios y encontró diminutas formas de vida en lugares donde nadie había pensado en mirar antes, como el agua. Leeuwenhoek tenía
descubrió formas de vida unicelulares como protistas y bacterias, a las que llamó "animálculos". Cuando informó de sus hallazgos a la Royal Society británica, enviaron a tres sacerdotes para certificar que realmente había visto tales cosas. El microscopista holandés Jan Swammerdam demostró que el huevo, la larva, la pupa y el adulto son todas etapas en el desarrollo de un insecto, y no animales separados creados por Dios. Las viejas ideas que se remontan a Aristóteles fueron barridas por estos nuevos descubrimientos. Mientras tanto, el biólogo inglés John Ray compiló una enorme enciclopedia de plantas, que marcó el primer intento serio de clasificación sistemática.

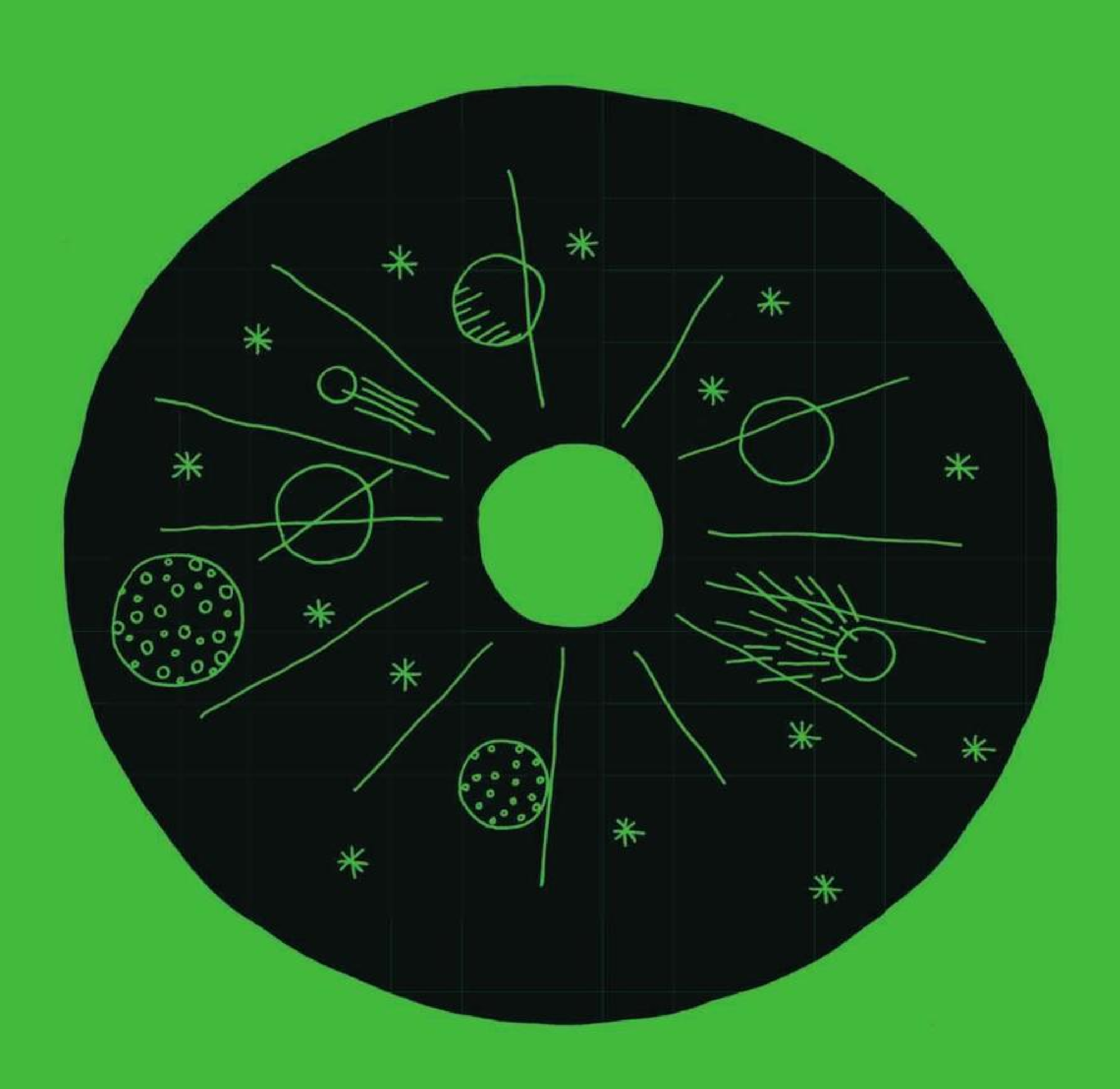
Análisis matemático

Anunciando la Ilustración, estos descubrimientos sentaron las bases para las disciplinas científicas modernas de astronomía, química, geología, física y biología. El mayor logro del siglo llegó con el tratado de Newton. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, que expuso sus leyes del movimiento y la gravedad. La física newtoniana seguiría siendo la mejor descripción del mundo físico durante más de dos siglos y, junto con las técnicas analíticas de cálculo desarrolladas de forma independiente por Newton y Gottfried Wilhelm Leibniz, proporcionaría una poderosa herramienta para el estudio científico futuro.

EN EL CENTRO DE TODO ES EL



NICOLAUS COPÉRNICO (1473–1543)



EN CONTEXTO

RAMA
Astronomía

ANTES
siglo tercero **antes de Cristo** en una obra llamada *El contador de arena*, Arquímedes relata las ideas de Aristarco de Samos, quien propuso que el universo era mucho más grande que comúnmente se creía, y que el Sol estaba en su centro.

150 CE Ptolomeo de Alejandría usa las matemáticas para describir un modelo geocéntrico (centrado en la Tierra) del universo.

DESPUÉS
1609 Johannes Kepler resuelve los conflictos pendientes en el modelo heliocéntrico (centrado en el Sol) del sistema solar proponiendo órbitas elípticas.

1610 Después de observar las lunas de Júpiter, Galileo se convence de que Copérnico tenía razón.

T A lo largo de su historia temprana, el pensamiento occidental fue formado por una idea de el universo que colocó a la Tierra en el centro de todo. Al principio, este "modelo geocéntrico" parecía estar arraigado en las observaciones cotidianas y el sentido común: no sentimos ningún movimiento del suelo sobre el que nos encontramos y, superficialmente, tampoco parece haber evidencia observacional de que nuestro planeta esté en movimiento. Seguramente, la explicación más simple fue que el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas giraban alrededor de la Tierra a diferentes velocidades. Este sistema parece haber sido ampliamente aceptado en el mundo antiguo y se arraigó en la filosofía clásica a través de las obras de Platón y Aristóteles en el siglo IV. antes de Cristo.

Sin embargo, cuando los antiguos griegos midieron los movimientos de los planetas, quedó claro que el sistema geocéntrico tenía problemas. Las órbitas de los planetas conocidos, cinco luces errantes en el cielo, siguieron caminos complejos. Mercurio y Venus siempre se vieron en los cielos matutinos y vespertinos, describiendo bucles cerrados alrededor



Si el Señor Todopoderoso me hubiera consultado antes de emprender así la creación, le habría recomendado algo mas simple
alfonso x
Rey de Castilla



el sol. Mientras tanto, Marte, Júpiter y Saturno tardaron 780 días, 12 años y 30 años respectivamente en dar vueltas contra las estrellas de fondo, y su movimiento se complicó con bucles "retrógrados" en los que ralentizaron e invirtieron temporalmente la dirección general de su movimiento.

sistema ptolemaico

Para explicar estas complicaciones, los astrónomos griegos introdujeron la idea de los epiciclos, "subórbitas" alrededor de las cuales los planetas giraban como los puntos centrales de "pivote" del sistema.

La Tierra parece estar estacionaria., con el Sol, la Luna, planetas y estrellas que lo orbitan.

Sin embargo, un **modelo** del **universo** con **La tierra en su centro** no puede describir el **movimiento de los planetas** sin usar muy sistema complicado.

Colocando el **sol en el centro** produce un lejos **modelo mas elegante**, con la Tierra y los planetas girando alrededor del Sol, y las estrellas a una gran distancia.

En el centro de todo está el Sol.

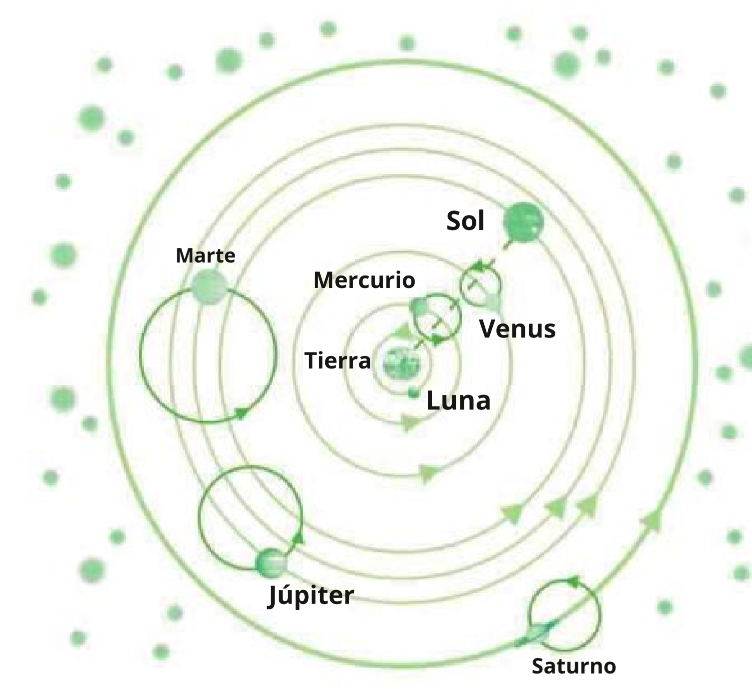
Ver también: Zhang Heng 26–27 · Johannes Kepler 40–41 · Galileo Galilei 42–43 · Guillermo Herschel 86–87 · Edwin Hubble 236–41

las suborbitas fueron llevadas alrededor del Sol. Este sistema fue refinado por el gran astrónomo y geógrafo grecorromano Ptolomeo de Alejandría en el siglo II. CE.

Sin embargo, incluso en el mundo clásico había diferencias de opinión: el pensador griego Aristarco de Samos, por ejemplo, usó medidas trigonométricas ingeniosas para calcular las distancias relativas del Sol y la Luna en el siglo III. antes de Cristo. Descubrió que el Sol era enorme, y esto lo inspiró a sugerir que el Sol era un punto de pivote más probable para el movimiento del cosmos.

Sin embargo, el sistema ptolemaico finalmente venció a las teorías rivales, con implicaciones de largo alcance. Mientras que el romano Imperio menguado en los siglos posteriores, la Iglesia cristiana heredó muchas de sus premisas. La idea de que la Tierra era el centro de todo, y que el hombre era el pináculo de la creación de Dios, con dominio sobre la Tierra, se convirtió en un principio central del cristianismo y dominó en Europa hasta el siglo XVI.

Sin embargo, esto no significa que la astronomía se estancó durante un milenio y medio después de Ptolomeo. La capacidad de predecir con precisión los movimientos de los planetas no solo era un rompecabezas científico y filosófico, sino que también tenía supuestos propósitos prácticos gracias a las supersticiones de la astrología. Astrónomos de todos persuasiones tenían una buena razón para intentar mediciones cada vez más precisas de los movimientos de los planetas.



El modelo del universo de Ptolomeo tiene la Tierra inmóvil en el centro, con el Sol, la Luna y los cinco planetas conocidos siguiendo órbitas circulares a su alrededor. Para que sus órbitas coincidieran con las observaciones, Ptolomeo añadió epiciclos más pequeños al movimiento de cada planeta.

beca árabe

Los últimos siglos del primer milenio se correspondieron con el primer gran florecimiento de la ciencia árabe. La rápida expansión del Islam por Oriente Medio y el norte de África a partir del siglo VII puso a los pensadores árabes en contacto con los textos clásicos, incluidos los escritos astronómicos de Ptolomeo y otros.

La práctica de la "astronomía posicional": calcular las posiciones de los cuerpos celestes alcanzó su apogeo en España, que se había convertido en un crisol dinámico del pensamiento islámico, judío y cristiano. A finales del siglo XIII, el rey Alfonso X de Castilla patrocinó la compilación de las Tablas Alfonsinas, que combinaban nuevas observaciones con siglos de registros islámicos para aportar nueva precisión a la

sistema ptolemaico y proporcionar los datos que se utilizarían para calcular las posiciones planetarias hasta principios del siglo XVII.

Cuestionando a Ptolomeo

Sin embargo, en este punto, el modelo ptolemaico se estaba volviendo absurdamente complicado, con más epiciclos agregados para mantener la predicción en línea con la observación. En 1377, el filósofo francés Nicole Oresme, obispo de Lisieux, abordó este problema de frente en el trabajo *Livre du Ciel et du Monde* (*Libro de los Cielos y la Tierra*). Demostró la falta de pruebas observacionales de que la Tierra era estática y argumentó que no había razón para suponer que

no estaba en movimiento. Sin embargo, a pesar de su demolición de la evidencia del sistema ptolemaico, Oresme concluyó que él mismo no creía en una Tierra en movimiento.

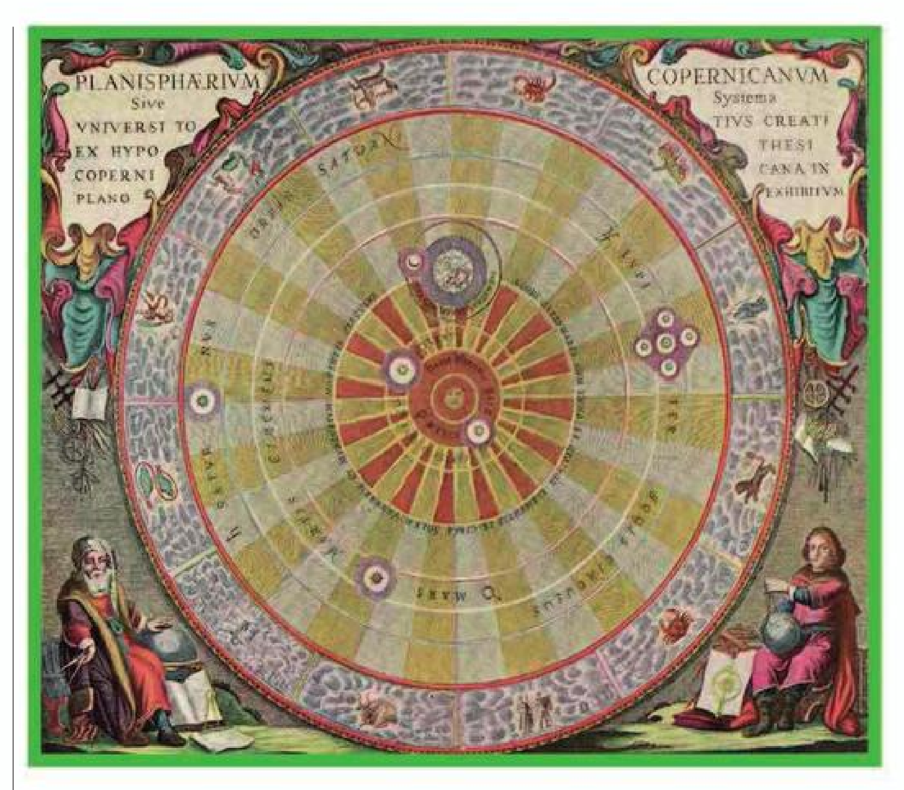
A principios del siglo XVI, la situación se había vuelto muy diferente. Las fuerzas gemelas del Renacimiento y la Reforma protestante vieron cuestionados muchos viejos dogmas religiosos. Fue en este contexto que Nicolás Copérnico, un canónigo católico polaco de la provincia de Warmia, presentó la primera teoría heliocéntrica moderna, desplazando el centro del universo de la Tierra al Sol.

Copérnico publicó por primera vez sus ideas en un breve folleto conocido como el*Comentariolus*, circuló entre amigos alrededor de 1514. Su teoría era similar en esencia al sistema propuesto por Aristarco, y aunque superó muchas de las fallas del modelo anterior, permaneció profundamente apegado a ciertos pilares de la doctrina ptolemaica. pensamiento, más significativamente la idea de que las órbitas de los objetos celestes estaban montadas en esferas cristalinas que giraban en un movimiento circular perfecto. Como resultado, Copérnico tuvo que introducir sus propios "epiciclos" para regular la velocidad de los planetas.



Dado que el Sol permanece estacionario, cualquier cosa que parezca un movimiento del Sol se debe al movimiento de la Tierra.
Nicolás Copérnico





Esta ilustración del siglo XVIIdel sistema copernicano muestra los planetas en órbitas circulares alrededor del sol. Copérnico creía que los planetas estaban unidos a esferas celestiales.

movimientos en ciertas partes de sus órbitas. Una implicación importante de su modelo fue que aumentó enormemente el tamaño del universo. Si la Tierra se estuviera moviendo alrededor del Sol, entonces esto debería revelarse a través de los efectos de paralaje causados por nuestro punto de vista cambiante: las estrellas deberían moverse de un lado a otro en el cielo durante todo el año. Como no lo hacen, deben estar muy lejos.

El modelo copernicano pronto demostró ser mucho más preciso que cualquier refinamiento del antiguo sistema ptolemaico, y se corrió la voz entre los círculos intelectuales de toda Europa. La noticia llegó incluso a Roma, donde, contrariamente a la creencia popular, el modelo fue al principio bien acogido en algunos círculos católicos. El nuevo modelo causó suficiente revuelo como para que el matemático alemán Georg Joachim Rheticus viajara a Warmia y se convirtiera en alumno y asistente de Copérnico desde 1539.

Fue Rheticus quien publicó el primer relato ampliamente difundido del sistema copernicano, conocido como el*Narración prima*, en 1540. Rheticus instó al anciano sacerdote a publicar su propia obra en su totalidad, algo que Copérnico había contemplado durante muchos años, pero que sólo concedió en 1543 mientras yacía en su lecho de muerte.

herramienta matemática

Publicado póstumamente,*De revolutionibus orbium coelestium* (*Sobre las revoluciones de las esferas celestes*) inicialmente no fue recibida con indignación, a pesar de que cualquier sugerencia de que la Tierra estaba en movimiento contradecía directamente varias pasajes de la Escritura y fue

por lo tanto considerado como herético tanto por los teólogos católicos como por los protestantes. Para eludir el problema, se había insertado un prefacio que explicaba el modelo heliocéntrico como una herramienta puramente matemática para la predicción, no como una descripción del universo físico. En vida, sin embargo, el propio Copérnico no había mostrado tales reservas. A pesar de sus implicaciones heréticas, el modelo copernicano se usó para los cálculos involucrados en la gran reforma del calendario introducida por el Papa Gregorio XIII en 1582.

Sin embargo, pronto comenzaron a surgir nuevos problemas con la precisión predictiva del modelo, gracias a las meticulosas observaciones del astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601), que demostraron que el modelo copernicano no describía adecuadamente los movimientos planetarios. Brahe intentó resolver estas contradicciones con un modelo propio en el que los planetas giraban alrededor del Sol pero el Sol y la Luna permanecían en órbita alrededor de la Tierra. La verdadera solución, la de las órbitas elípticas, sólo la encontraría su alumno Johannes Kepler.

Pasarían seis décadas antes de que el copernicanismo se convirtiera en un verdadero emblema de la escisión provocada en Europa por la Reforma de los

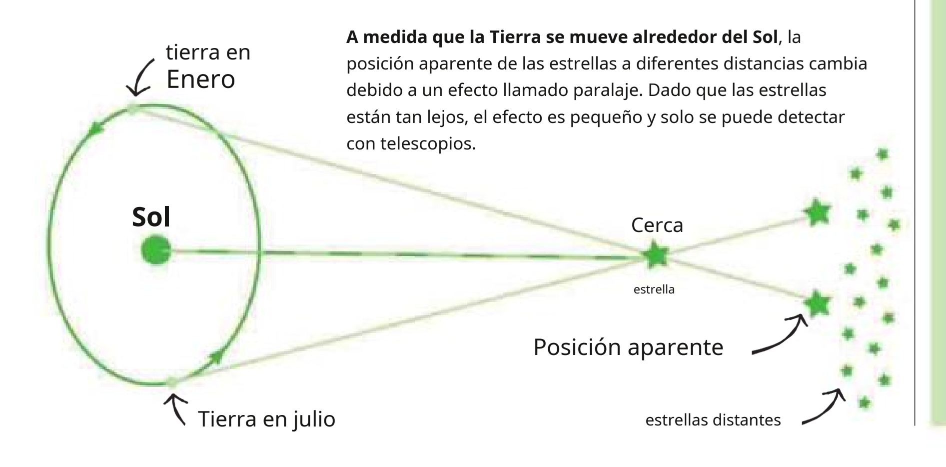


como si estuviera sentado en un trono real, el Sol gobierna la familia de los planetas girando a su alrededor.

Nicolás Copérnico




Church, gracias en gran parte a la controversia que rodea al científico italiano Galileo Galilei. Las observaciones de Galileo de 1610 de las fases mostradas por Venus y la presencia de lunas que orbitan alrededor de Júpiter lo convencieron de que la teoría heliocéntrica era correcta, y su ferviente apoyo a ella, desde el corazón de la Italia católica, se expresó finalmente en su *Diálogo sobre los dos principales sistemas mundiales* (1632). Esto llevó a Galileo a entrar en conflicto con el papado, uno de cuyos resultados fue la censura retrospectiva de pasajes controvertidos en *De Revolutionibus* en 1616. Esta prohibición no sería levantada por más de dos siglos.



A medida que la Tierra se mueve alrededor del Sol, la posición aparente de las estrellas a diferentes distancias cambia debido a un efecto llamado paralaje. Dado que las estrellas están tan lejos, el efecto es pequeño y solo se puede detectar con telescopios.



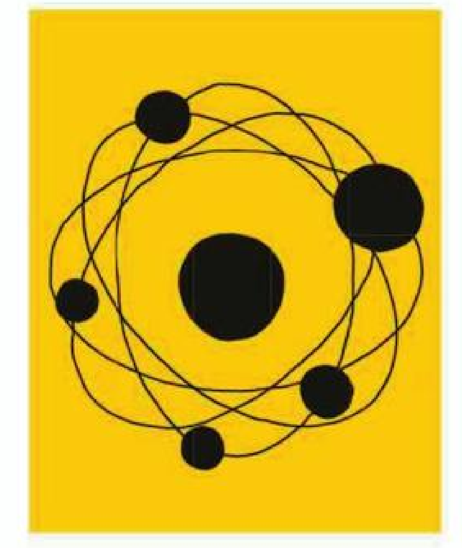
Nicolás Copérnico

Nacido en la ciudad polaca de Torun en 1473, Nicolaus Copernicus era el menor de cuatro hijos de un rico comerciante. Su padre murió cuando Nicolaus tenía 10 años. Un tío lo tomó bajo su protección y supervisó su educación en la Universidad de Cracovia. Pasó varios años en Italia estudiando medicina y derecho, regresando en 1503 a Polonia, donde se unió a la canonjía bajo la dirección de su tío, que ahora era príncipe-obispo de Warmia.

Copérnico era un maestro tanto de los idiomas como de las matemáticas, tradujo varias obras importantes y desarrolló ideas sobre economía, además de trabajar en sus teorías astronómicas. La teoría que esbozó en *De Revolutionibus* era abrumador en su complejidad matemática, por lo que, si bien muchos reconocieron su importancia, los astrónomos no lo adoptaron ampliamente para el uso práctico diario.

Trabajos clave

1514 *Comentariolus*
1543 *De Revolutionibus Orbium Celestium* (*Sobre las revoluciones de las esferas celestes*)



LA ÓRBITA DE CADA PLANETA ES UNA ELIPSE

JOHANNES KEPLER (1571-1630)

EN CONTEXTO

RAMA
Astronomía

ANTES
150CE Ptolomeo de Alejandría publica el*Algamesto*, un modelo del universo basado en la suposición de que la Tierra se encuentra en su centro y el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas giran alrededor de ella en órbitas circulares en puntos fijos.

esferas celestes.

siglo 16 La idea de una cosmología centrada en el Sol comienza a ganar adeptos a través de las ideas de Nicolás Copérnico.

DESPUÉS
1639 Jeremiah Horrocks usa las ideas de Kepler para predecir y ver un tránsito de Venus frente al Sol.

1687 Las leyes de movimiento y gravitación de Isaac Newton revelan los principios físicos que dan lugar a las leyes de Kepler.

While el trabajo de Nicolaus Copernicus sobre las órbitas celestes, publicado en 1543, presentó un caso convincente a favor de un modelo heliocéntrico (centrado en el Sol) del universo, su sistema adolecía de problemas significativos. Incapaz de liberarse de las ideas antiguas de que los cuerpos celestes estaban montados en esferas de cristal, Copérnico había afirmó que los planetas orbitaban alrededor del Sol en trayectorias circulares perfectas y se vio obligado a introducir una variedad de complicaciones en su modelo para dar cuenta de sus irregularidades.

Supernova y cometas

En la segunda mitad del siglo XVI, el noble danés Tycho Brahe (1546-1601) hizo observaciones que

El nacimiento de una nueva estrella en una constelación muestra que**los cielos** más allá de los planetas**son no inmutable**.

Observaciones de**cometas** demostrar que ellos**moverse entre los planetas**, cruzando sus órbitas.

Esta sugerencia que los cuerpos celestes son **no adjunto**fijo celestial**esferas**.

Si los planetas no están fijos en esferas, un **órbita elíptica**alrededor de Sol**mejor explica**su **movimiento observado**.

La órbita de cada planeta es una elipse.

Ver también: Nicolás Copérnico 34–39 ■ Jeremías Horrocks 52 ■ Isaac Newton 62–69

sería vital para resolver los problemas. Una brillante explosión de supernova vista en la constelación de Casiopea en 1572 socavó la idea copernicana de que el universo más allá de los planetas no cambiaba. En 1577, Brahe trazó el movimiento de un cometa. Se pensaba que los cometas eran fenómenos locales, más cercanos que la Luna, pero las observaciones de Brahe mostraron que el cometa debía estar mucho más allá de la Luna y, de hecho, se estaba moviendo entre los planetas. De un golpe, esta evidencia demolió la idea de "esferas celestiales". Sin embargo, Brahe permaneció casado con la idea de órbitas circulares en su modelo geocéntrico (centrado en la Tierra).

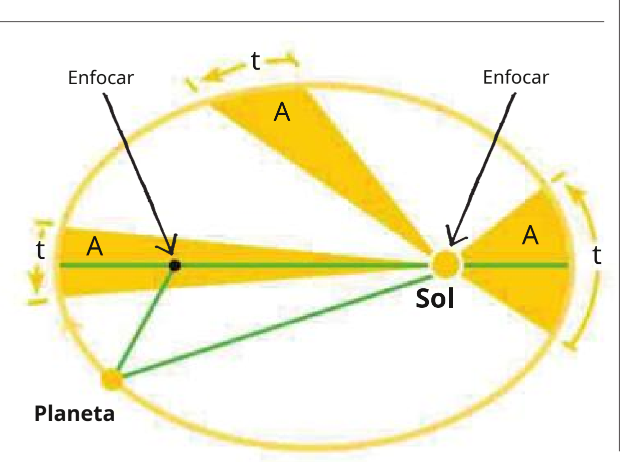
En 1597, Brahe fue invitado a Praga, donde pasó sus últimos años como matemático imperial del emperador Rodolfo II. Aquí se le unió el astrólogo alemán Johannes Kepler, quien continuó el trabajo de Brahe después de su muerte.

Rompiendo con círculos

Kepler ya había comenzado a calcular una nueva órbita para Marte a partir de las observaciones de Brahe, y en ese momento llegó a la conclusión de que su órbita debía ser ovoide (en forma de huevo) en lugar de que verdaderamente circular. Kepler formuló un modelo heliocéntrico con órbitas ovoides, pero aún así no coincidía con los datos de observación. En 1605, concluyó que, en cambio, Marte debe orbitar alrededor del Sol en una elipse, un "círculo estirado" con el Sol como uno de los dos puntos de enfoque. En su *Astronomía Nova* (*nueva astronomia*) de 1609, esbozó dos leyes del movimiento planetario. La primera ley establecía que la órbita de cada planeta es una elipse. La segunda ley establece que una línea que une un planeta con el Sol barre áreas iguales durante períodos de tiempo iguales. Esto significa que la velocidad de los planetas aumenta cuanto más cerca están del Sol. Una tercera ley, en 1619, describió la relación del año de un planeta con su distancia al Sol: el cuadrado del período orbital (año) de un planeta es proporcional al cubo de su distancia al Sol. Entonces, un planeta que está al doble de la distancia del Sol que otro planeta tendrá un año que es casi tres veces más largo.

Se desconocía la naturaleza de la fuerza que mantenía a los planetas en órbita. Kepler creía que era magnético, pero sería 1687 antes de que Newton demostrara que era la gravedad.

leyes de kepler estado que siguen los planetas órbitas elípticas con el Sol como uno de los dos focos de la elipse. En cualquier momento dado, *t*, una línea que une los planetas con el Sol atraviesa áreas iguales (A) en la elipse.





johannes kepler

Nacido en la ciudad de Weil der Stadt, cerca de Stuttgart, en el sur de Alemania, en 1571, Johannes Kepler fue testigo del Gran Cometa de 1577 cuando era niño, lo que marcó el comienzo de su fascinación por el Cielos. Mientras estudiaba en la Universidad de Tübingen, se ganó la reputación de brillante matemático y astrólogo. Mantuvo correspondencia con varios líderes astrónomos de la época, entre ellos Tycho Brahe, finalmente se mudó a Praga en 1600 para convertirse en estudiante y heredero académico de Brahe.

Tras la muerte de Brahe en 1601, Kepler asumió el cargo de matemático imperial, con una comisión real para completar el trabajo de Brahe sobre el llamado *Mesas Rudolfinas* para predecir los movimientos de los planetas. Completó este trabajo en Linz, Austria, donde trabajó desde 1612 hasta su muerte en 1630.

Trabajos clave

1596 *El misterio cósmico*
1609 *Astronomía Nova* (*nueva astronomia*)
1619 *La armonía del mundo*
1627 *Mesas Rudolfinas*



UN CUERPO QUE CAE ACELERA UNIFORME

GALILEO GALILEI (1564-1642)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
siglo IVantes de Cristo Aristóteles desarrolla ideas sobre fuerzas y movimiento, pero no las prueba experimentalmente.

1020 El erudito persa Ibn Sina (Avicena) escribe que los objetos en movimiento tienen un "ímpetu" innato, frenado solo por factores externos como la resistencia del aire.

1586 El ingeniero flamenco Simon Stevin deja caer dos bolas de plomo de peso desigual desde la torre de una iglesia en Delft para demostrar que caen a la misma velocidad.

DESPUÉS
1687isaac newton*principios* formula sus leyes de movimiento.

1971 El astronauta estadounidense Dave Scott demuestra las ideas de Galileo sobre la caída de cuerpos al mostrando que un martillo y una pluma caen a la misma velocidad en la Luna, que casi no tiene atmósfera que cause arrastre.

Fo 2.000 años, pocas personas desafiaron la idea de Aristóteles afirmación de que un externo fuerza mantiene las cosas en movimiento y que los objetos pesados caen más rápido que los más livianos. Recién en el siglo XVII, el astrónomo y matemático italiano Galileo Galilei insistió en que las ideas debían ser probadas. Ideó experimentos para probar cómo y por qué los objetos se mueven y dejan de moverse, y fue el primero en descubrir el principio de

inercia—que los objetos resisten un cambio en el movimiento y necesitan una fuerza para comenzar a moverse, acelerar o disminuir la velocidad. Al cronometrar la caída de los objetos, Galileo demostró que la velocidad de caída es la misma para todos los objetos y se dio cuenta del papel que desempeña la fricción en su desaceleración.

Con el equipo disponible durante la década de 1630, Galileo no podía medir directamente la velocidad o la aceleración de los objetos en caída libre. Al hacer rodar pelotas por una rampa y subir por otra, demostró que la velocidad de una pelota en la parte inferior de la rampa dependía de su altura inicial, no de la pendiente de la rampa, y que una pelota siempre rodaría hasta la misma altura. había comenzado, sin importar cuán empinadas o poco profundas fueran las pendientes.

Galileo llevó a cabo sus experimentos restantes con una rampa de 16 pies (5 m) de largo, revestida con un material liso para reducir la fricción. Para medir el tiempo, usó un gran recipiente de agua con un pequeño tubo en el fondo. Recogió el agua durante el intervalo que estaba midiendo y pesó el agua



Galileo demostróque la velocidad que alcanza una pelota en la parte inferior de una rampa depende solo de su altura inicial, no de la inclinación de la rampa. Aquí, las bolas que se dejan caer desde los puntos A y B llegarán al final de la rampa a la misma velocidad.

Ver también: Nicolás Copérnico 34–39 · Isaac Newton 62–69



Cuente lo que es contable, mida lo que es medible y lo que no es medible, hacerlo medible.
Galileo Galilei



recogido. Al dejar ir la pelota en diferentes puntos de la rampa, demostró que la distancia recorrida dependía del cuadrado del tiempo empleado; en otras palabras, la pelota aceleraba rampa abajo.

La ley de los cuerpos que caen.

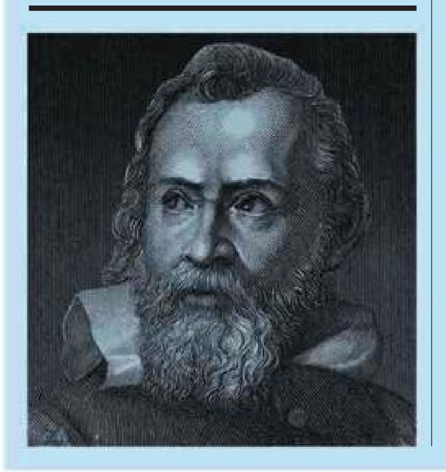
La conclusión de Galileo fue que todos los cuerpos caen a la misma velocidad en el vacío, una idea desarrollada posteriormente por Isaac Newton. Hay una mayor fuerza de la gravedad sobre una masa más grande, pero la masa más grande también necesita una fuerza mayor para hacerlo acelerar. Los dos efectos se anulan entre sí, por lo que, en ausencia de otras fuerzas, todos los objetos que caen se acelerarán al mismo ritmo. Vemos cosas que caen a diferentes velocidades en la vida cotidiana debido al efecto de la resistencia del aire, que frena los objetos a diferentes velocidades dependiendo de su tamaño y forma. Una pelota de playa y una bola de boliche del mismo tamaño inicialmente

acelerar al mismo ritmo. Una vez que se están moviendo, la misma cantidad de resistencia del aire actuará sobre ellos, pero el tamaño de esta fuerza será una proporción mucho mayor de la fuerza hacia abajo sobre la pelota de playa que sobre la bola de boliche, por lo que la pelota de playa se ralentizará más. .

La insistencia de Galileo en probar teorías con observación cuidadosa y experimentos medibles lo señala, como Alhazen, como uno de los fundadores de la ciencia moderna. Sus ideas sobre las fuerzas y el movimiento allanaron el camino para las leyes del movimiento de Newton 50 años después y sustentan nuestra comprensión del movimiento en el universo, desde los átomos hasta las galaxias.



Galileo Galilei



Galileo nació en Pisa, pero luego se mudó con su familia a Florencia. En 1581, se matriculó en la Universidad de Pisa para estudiar medicina, luego cambió a matemáticas y filosofía natural. Investigó muchas áreas de la ciencia y quizás sea más famoso por su descubrimiento de las cuatro lunas más grandes de Júpiter (todavía llamadas lunas galileanas). Las observaciones de Galileo lo llevaron a apoyar el modelo del sistema solar centrado en el Sol, que en ese momento estaba en oposición a las enseñanzas de la Iglesia Católica Romana. En 1633, fue juzgado y obligado a retractarse de esta y otras ideas. Fue condenado a arresto domiciliario, que duró el resto de su vida. Durante su encierro, escribió un libro que resume su trabajo sobre cinemática (la ciencia del movimiento).

Trabajos clave

1623 *el ensayador*
1632 *Diálogo sobre los dos principales sistemas mundiales*
1638 *Discursos y Demostraciones Matemáticas Relacionadas con Dos Nuevas Ciencias*



EL MUNDO DE LA TIERRA ES UN IMÁN

GUILLERMO GILBERT (1544-1603)

EN CONTEXTO

RAMA
Geología

ANTES
siglo VIantes de Cristo El pensador griego Tales de Mileto observa rocas magnéticas o imanes.

siglo primeroCE Los adivinos chinos fabrican brújulas primitivas con cucharones de hierro que giran hacia el sur.

1269 El erudito francés Pierre de Maricourt establece las leyes básicas de la atracción, la repulsión y los polos magnéticos.

DESPUÉS
1824 El matemático francés Siméon Poisson modela las fuerzas en un campo magnético.

1940 El físico estadounidense Walter Maurice Elsasser atribuye el campo magnético de la Tierra al hierro que se arremolina en su núcleo exterior a medida que el planeta gira.

1958 La misión espacial Explorer 1 muestra el campo magnético de la Tierra que se extiende hacia el espacio.

Ba fines del siglo XVI, los capitanes de los barcos ya confiaban en las brújulas magnéticas para mantener su curso a través de los océanos. Sin embargo, nadie sabía cómo funcionaban. Algunos pensaron que la aguja de la brújula se sintió atraída por la Estrella Polar, otros que fue atraída por las montañas magnéticas del Ártico. Fue el médico inglés William Gilbert quien descubrió que la Tierra misma es magnética.



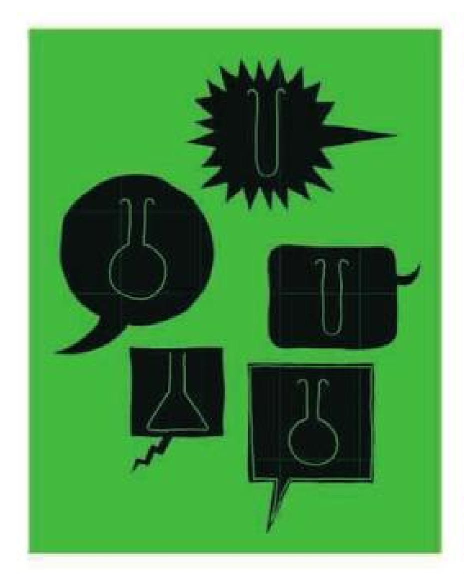
Se obtienen razones más fuertes de ciertos experimentos y argumentos demostrados que de probable conjeturas y opiniones de especuladores filosóficos.
Guillermo Gilberto



El avance de Gilbert no provino de un destello de inspiración, sino de 17 años de meticulosos experimentos. Aprendió todo lo que pudo de los capitanes de los barcos y de los fabricantes de brújulas, y luego hizo un modelo de globo terráqueo, o "terrella", con la piedra imán de roca magnética y probó las agujas de la brújula contra él. Las agujas reaccionaron alrededor de la terrella tal como lo hicieron las brújulas de los barcos en una escala mayor, mostrando los mismos patrones de declinación (apuntando ligeramente alejándose del norte verdadero en el polo geográfico, que difiere del norte magnético) y la inclinación (inclinación hacia abajo desde la horizontal hacia el globo).

Gilbert concluyó, correctamente, que todo el planeta es un imán y tiene un núcleo de hierro. Publicó sus ideas en el libro*Magneto* (*en el imán*) en 1600, causando sensación. Johannes Kepler y Galileo, en particular, se inspiraron en su sugerencia de que la Tierra no está sujeta a esferas celestes giratorias, como todavía pensaba la mayoría de la gente, sino que la fuerza invisible de su propio magnetismo la hace girar.

Ver también: Tales de Mileto 20 Johannes Kepler 40–41 Galileo Galilei 42–43 Hans Christian Ørsted 120 James secretario Maxwell 180–85



NO POR ARGUMENTAR, PERO AL INTENTAR

FRANCISCO BACON (1561-1626)

EN CONTEXTO

RAMA
Ciencia experimental

ANTES
siglo IV antes de Cristo Aristóteles deduce, argumenta y escribe, pero no prueba con experimentos: sus métodos persistirán durante el próximo milenio.

c.750–1250 CE Científicos árabes realizan experimentos durante la Edad de Oro del Islam.

DESPUÉS
1630 Galileo experimenta con cuerpos que caen.

1637 El filósofo francés René Descartes insiste en un riguroso escepticismo e indagación en su *Discurso sobre el método*.

1665 Isaac Newton usa un prisma para investigar la luz.

1963 En *Conjeturas y Refutaciones*, el filósofo austríaco Karl Popper insiste en que una teoría puede probarse y probarse como falsa, pero no puede probarse que es correcta de manera concluyente.

Tl filósofo, estadista y científico inglés Francis Bacon no fue el primero en realizar experimentos: Alhazen y otros científicos árabes los realizaron 600 años antes, pero fue el primero en explicar los métodos del razonamiento inductivo y en establecer el método científico. También vio a la ciencia como una “primavera de una progenie de invenciones, que superarán, hasta cierto punto, y someterán nuestras necesidades y miserias”.



Si algo puede ser conocido o no, puede ser resuelto no discutiendo, sino intentándolo.
Francis Bacon



Evidencia del experimento

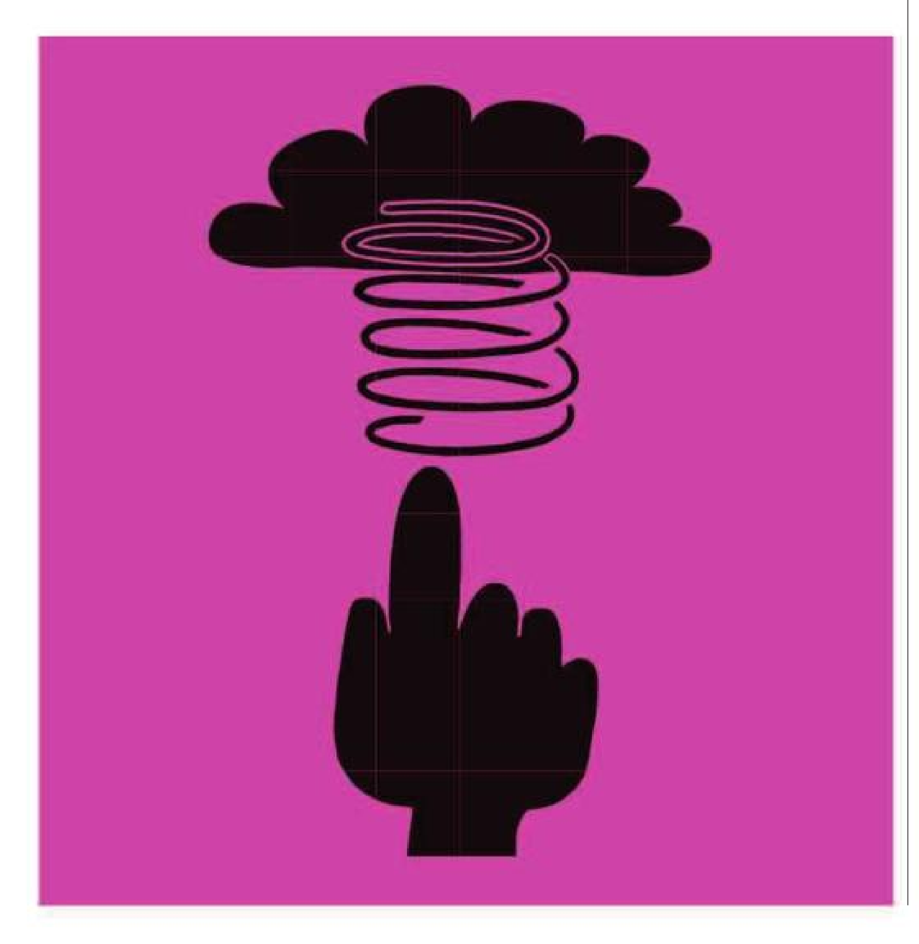
Según el filósofo griego Platón, la verdad se encontraba mediante la autoridad y el argumento: si suficientes hombres inteligentes discutieran algo durante el tiempo suficiente, resultaría la verdad. Su alumno, Aristóteles, no vio la necesidad de experimentar. Bacon parodiaba a "autoridades" como arañas, tejiendo telarañas a partir de su propia sustancia. Insistió en la evidencia del mundo real, particularmente de la experimentación.

Dos obras clave de Bacon establecieron el futuro de la investigación científica. En *Novum Órgano* (1620), expone sus tres fundamentos para la método científico: observación, deducción para formular una teoría que pueda explicar lo que se ha observado y experimentación para probar si la teoría es correcta. En *La Nueva Atlántida* (1623), Bacon describe una isla ficticia y su Casa de Salomón, una institución de investigación donde los académicos realizan investigaciones puras centradas en experimentar y hacer inventos. Compartiendo esos objetivos, la Royal Society se fundó en 1660 en Londres, con Robert Hooke como su primer curador de experimentos.

Ver también: Alhazén 28–29 · Galileo Galilei 42–43 · William Gilbert 44 · Roberto Hooke 54 · Isaac Newton 62–69

CONMOVEDOR LA PRIMAVERA DEL AIRE

ROBERTO BOYLE (1627-1691)



EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1643 Evangelista Torricelli inventa el barómetro utilizando un tubo de mercurio.

1648 Blaise Pascal y su cuñado demuestran que la presión del aire disminuye con la altitud.

1650 Otto von Guericke realiza experimentos sobre aire y vacío, publicado por primera vez en 1657.

DESPUÉS
1738físico suizo Daniel Bernoulli publica *Hidrodinámica*, que describe una teoría cinética de los gases.

1827 El botánico escocés Robert Brown explica el movimiento del polen en el agua como resultado de colisiones con moléculas de agua que se mueven en direcciones aleatorias.

In el siglo XVII, varios científicos de toda Europa investigaron las propiedades del aire y su trabajo llevó al científico angloirlandés Robert Boyle a producir sus leyes matemáticas que describen la presión en un gas. Este trabajo estaba vinculado a un debate más amplio sobre la naturaleza del espacio entre las estrellas y los planetas. Los “atomistas” sostenían que había un espacio vacío entre los cuerpos celestes, mientras que los cartesianos (seguidores del filósofo francés René Descartes) sostenían que el espacio entre las partículas estaba lleno de una sustancia desconocida llamada éter, y que era imposible producir un vacío.

Ver también: Isaac Newton 62–69 · Juan Dalton 112–13 · Roberto FitzRoy 150–55

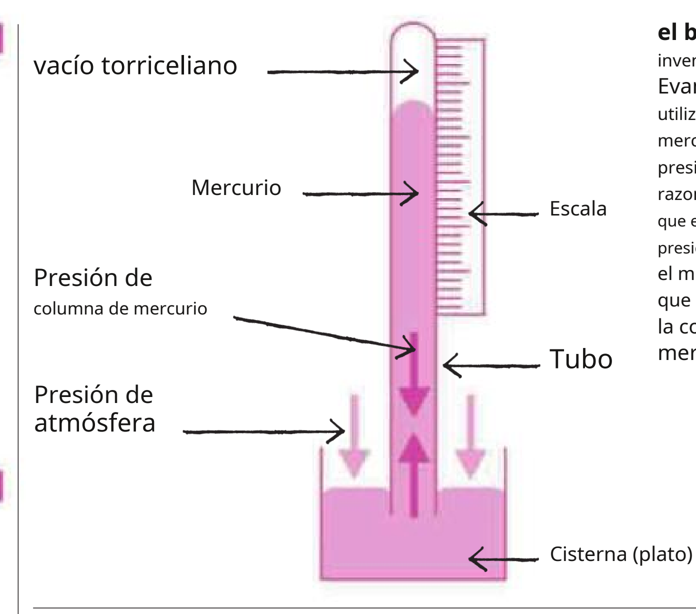


Vivimos sumergidos en el fondo de un océano del elemento aire, que por experimentos incuestionables se sabe que tiene peso.
Evangelista Torricelli



Barómetros

En Italia, el matemático Gasparo Berti realizó experimentos diseñados para averiguar por qué un La bomba de succión no podía elevar el agua a más de 33 pies (10 m) de altura. Berti tomó un tubo largo, lo selló por un extremo y lo llenó de agua. Luego invirtió el tubo con la boca en una tina de agua. El nivel del agua en el tubo descendió hasta que la columna alcanzó unos 10 m (30 pies) de altura. En 1642, su compañero italiano Evangelista Torricelli, al enterarse del trabajo de Berti, construyó un aparato similar pero usó mercurio en lugar de agua. Mercurio es más de 13 veces más denso que el agua, por lo que su columna de líquido tenía solo unas 30 pulgadas (76 cm) de altura. La explicación de Torricelli para esto fue que el peso del aire sobre el mercurio en el plato lo estaba presionando y que esto equilibraba el peso del mercurio dentro de la columna.



el barómetro inventado por Evangelista Torricelli utilizó una columna de mercurio para medir presión del aire. Torricelli razonó correctamente que era el aire presionando hacia abajo el mercurio en la cisterna que equilibraba la columna de mercurio en el tubo.

Dijo que el espacio en el tubo sobre el mercurio era un vacío. Esto se explica hoy en términos de presión (fuerza sobre un área determinada), pero la idea básica es la misma. Torricelli había inventado el primer barómetro de mercurio.

El científico francés Blaise Pascal se enteró del barómetro de Torricelli en 1646, lo que lo llevó a comenzar algunos experimentos propios. Una de ellas, interpretada por su cuñado Florin Périer, fue para demostrar que la presión del aire cambia dependiendo de la altitud. Se instaló un barómetro en los terrenos de un monasterio en Clermont y un monje lo observó durante el día. Périer llevó al otro a la cima del Puy de Dôme, a unos 1000 m (3200 pies) sobre la ciudad. La columna de mercurio era más de 8 cm (3 pulgadas) más corta en la cima de la montaña que en el jardín del monasterio. Dado que hay menos aire sobre una montaña que sobre el valle debajo de ella, esto demostró que era realmente el peso del aire lo que retenía el líquido en los tubos de mercurio o agua. Por este y otros trabajos, la unidad moderna de presión lleva el nombre de Pascal.



Los experimentos de Blaise Pascal con barómetros mostró cómo la presión del aire variaba con la altitud. Además de la física, Pascal también hizo importantes contribuciones a las matemáticas.

Bombas de aire

El siguiente avance importante fue realizado por el científico prusiano Otto von Guericke, quien fabricó una bomba que era capaz de extraer parte del aire de un recipiente. Realizó su más famoso



Los hombres están tan acostumbrados a juzgar las cosas por sus sentidos que, como el aire es indivisible, le atribuyen pero poco a ella, y pensar que sólo uno quita de la nada.
Roberto Boyle

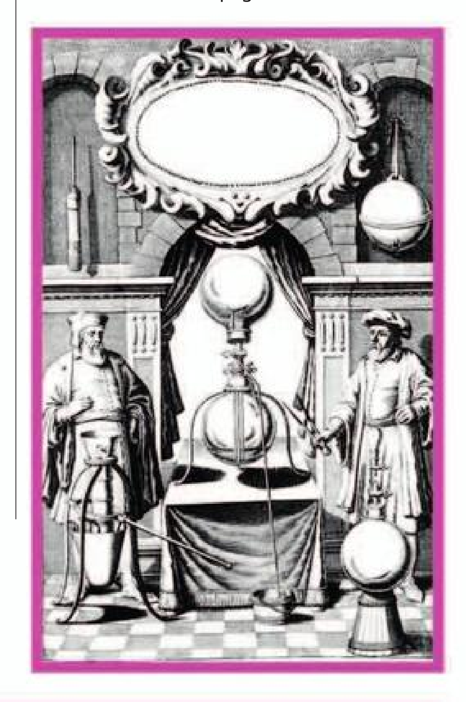


demostración en 1654, cuando unió dos hemisferios de metal con un sello hermético entre ellos y bombeó el aire fuera de ellos dos yuntas de caballos fueron incapaces de separar los hemisferios. Antes de que se bombeara el aire, la presión del aire dentro de los hemisferios sellados era la misma que la presión del aire exterior. Sin el aire del interior, la presión del aire exterior mantenía unidos los hemisferios.

Robert Boyle se enteró de los experimentos de von Guericke cuando se publicaron en 1657. Para hacer experimentos propios, Boyle encargó a Robert Hooke (p.54) que diseñara y construyera una bomba de aire. La bomba de aire de Hooke consistía en un "receptor" (recipiente) de vidrio cuyo diámetro era de casi 40 cm (16 pulgadas), un cilindro con un pistón debajo y una disposición de tapones y válvulas entre ellos.
Los movimientos sucesivos del pistón sacaron más y más aire del receptor. Debido a las fugas lentas en los sellos del equipo, el casi vacío dentro del receptor solo se pudo mantener por un corto tiempo. Sin embargo, la máquina fue una gran mejora con respecto a todo lo que se había hecho anteriormente, un ejemplo de la importancia de la tecnología para el avance de la investigación científica.

Resultados experimentales
Boyle realizó varios experimentos diferentes con la bomba de aire, que describió en su libro de 1660 *Nuevos Experimentos Físico-Mecánicos*. En el libro, tenía la intención de señalar que los resultados descritos son todos de experimentos, ya que en ese momento incluso experimentadores destacados como Galileo a menudo también informaron los resultados de "experimentos mentales".

Muchos de los experimentos de Boyle estaban directamente relacionados con la presión del aire. El receptor podría modificarse para contener un barómetro Torricelli, con el tubo pegado



Otto von Guerickeconstruyó la primera bomba de aire. Sus experimentos con la bomba proporcionaron evidencia en contra de la idea de Aristóteles de que “la naturaleza aborrece el vacío”.

Roberto Boyle



Robert Boyle nació en Irlanda, el decimocuarto hijo del conde de Cork. Fue instruido en casa antes de asistir a Eton College en Inglaterra y luego viajar por Europa. Su padre murió en 1643, dejándole suficiente dinero para satisfacer su interés por la ciencia a tiempo completo. Boyle regresó a Irlanda durante un par de años, pero vivió en Oxford desde 1654 hasta 1668 para poder hacer su trabajo más fácilmente y luego se mudó a Londres.

Boyle era parte de un grupo de hombres que estudiaban temas científicos llamado "Colegio Invisible", que se reunió en Londres y Oxford. para discutir sus ideas. Este grupo se convirtió en la Royal Society en 1663 y Boyle fue uno de los primeros miembros del consejo.
Además de su interés por la ciencia, Boyle realizó experimentos de alquimia y escribió sobre teología y el origen de las diferentes razas humanas.

Trabajos clave

1660 *Nuevos experimentos Físico-Mecánica: Tocando la Primavera del Aire y sus Efectos*
1661 *El químico escéptico*

fuera de la parte superior del receptor y sellado en su lugar con cemento. A medida que se reducía la presión en el receptor, bajaba el nivel del mercurio. También realizó el experimento opuesto y descubrió que al aumentar la presión dentro del receptor, aumentaba el nivel del mercurio. Esto confirmó lo anterior

descubrimientos de Torricelli y Pascal.

Boyle notó que se hacía cada vez más difícil bombear aire fuera del receptor a medida que disminuía la cantidad de aire que quedaba, y también mostró que una vejiga medio inflada en el receptor aumentaba de volumen a medida que se eliminaba el aire que lo rodeaba. Se podría lograr un efecto similar en la vejiga sosteniéndola frente al fuego. Dio dos posibles explicaciones para el "resorte" del aire que causaba estos efectos: cada partícula del aire era

comprimible como un resorte y toda la masa de aire parecía un vellón, o el aire consistía en partículas que se movían al azar.

Esto era similar a la opinión de los cartesianos, aunque Boyle no estaba de acuerdo con la idea del éter, pero sugirió que los "corpúsculos" se movían en el espacio vacío. Su explicación es



Si la altura de la columna de mercurio es menor en la cima de una montaña que al pie de ella, se sigue que el peso de la el aire debe ser la única causa de el fenómeno.
Blaise Pascual





notablemente similar a la teoría cinética moderna, que describe las propiedades de la materia en términos de partículas en movimiento.

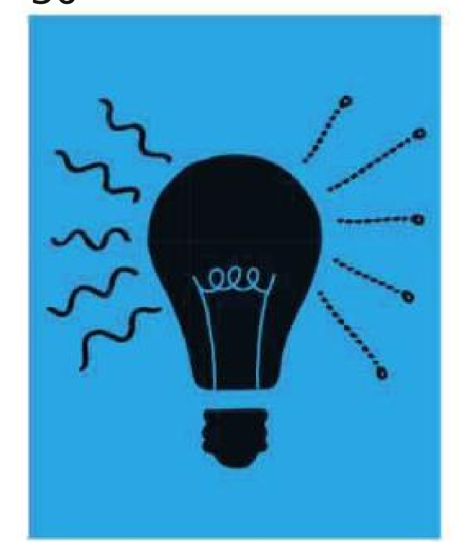
Algunos de los experimentos de Boyle fueron fisiológicos, investigando los efectos en pájaros y ratones al reducir la presión del aire y especulando sobre cómo el aire entra y sale de los pulmones.

Ley de Boyle

La ley de Boyle establece que la presión de un gas multiplicada por su volumen es constante, siempre que la cantidad de gas y la temperatura se mantengan iguales. En otras palabras, si disminuye el volumen de un gas, su presión aumenta. Es este aumento de presión lo que produce el resorte del aire. Puede sentir este efecto usando una bomba de bicicleta cubriendo el extremo con un dedo y empujando el mango hacia adentro.

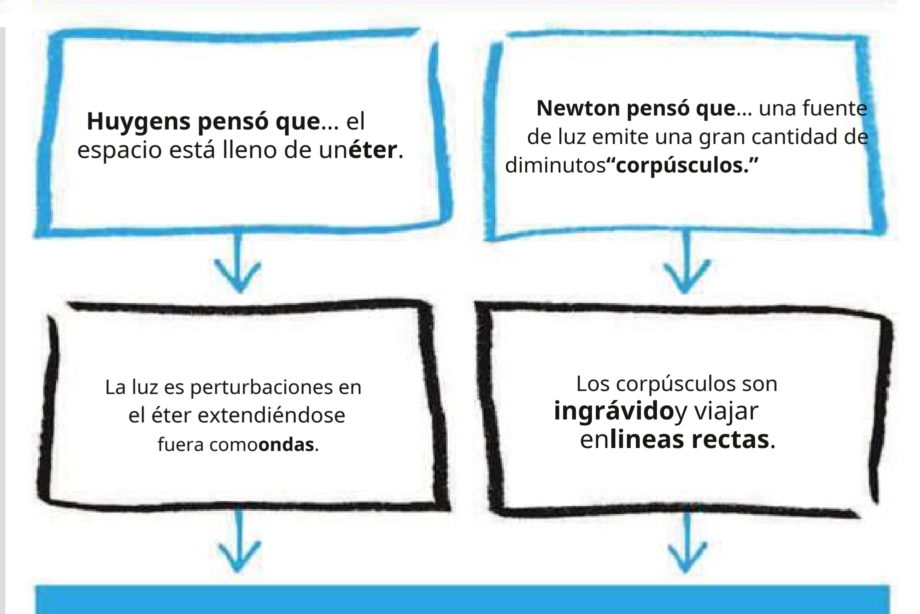
Aunque lleva su nombre, esta ley no fue propuesta por primera vez por Boyle, sino por los científicos ingleses Richard Towneley y Henry Power, quien realizó una serie de experimentos con un barómetro Torricelli y publicó sus resultados en 1663. Boyle vio un borrador inicial del libro y discutió los resultados con Towneley. Los confirmó mediante experimentos y publicó la "hipótesis del Sr. Towneley" en 1662 como parte de una respuesta a las críticas a sus experimentos originales.

El trabajo de Boyle sobre los gases fue particularmente significativo debido a su cuidadosa técnica experimental y también a su informe completo de todos sus experimentos y sus posibles fuentes de error, ya sea que hayan dado o no los resultados esperados. Esto llevó a muchos a buscar extender su trabajo. Hoy en día, la ley de Boyle se ha combinado con leyes descubiertas por otros científicos para formar la "ley de los gases ideales", que se aproxima al comportamiento de los gases reales bajo cambios de temperatura, presión o volumen. Sus ideas también eventualmente conducirían al desarrollo de la teoría cinética.



ES LUZ A PARTICULA O ¿UNA OLA?

CHRISTIAAN HUYGENS (1629–1695)



EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
Siglo 11 Alhazén muestra que la luz viaja en línea recta.

1630 René Descartes propone una descripción ondulatoria de la luz.

1660 Robert Hooke afirma que la luz es una vibración del medio a través del cual se propaga.

DESPUÉS
1803 Thomas Young describe experimentos que demuestran cómo la luz se comporta como una onda.

1864 James Clerk Maxwell predice la velocidad de la luz y concluye que la luz es una forma de onda electromagnética.

1900 Albert Einstein y Max Planck demuestran que la luz es tanto una partícula como una onda. Los cuantos de radiación electromagnética que reconocen ser conocido como "fotones".

In el siglo XVII, Isaac Newton y el astrónomo holandés Christiaan Huygens reflexionó sobre la verdadera naturaleza de la luz y llegó a conclusiones muy diferentes. El problema al que se enfrentaban era que cualquier teoría sobre la naturaleza de la luz tenía que explicar la reflexión, la refracción, la difracción y el color. Refracción es la curvatura de la luz cuando pasa de una sustancia a otra, y es la razón por la que las lentes pueden enfocar la luz. La difracción es la dispersión de la luz cuando pasa a través de un espacio muy estrecho.

Antes de los experimentos de Newton, se aceptaba ampliamente que la luz obtenía su cualidad de color al interactuar con la materia, que

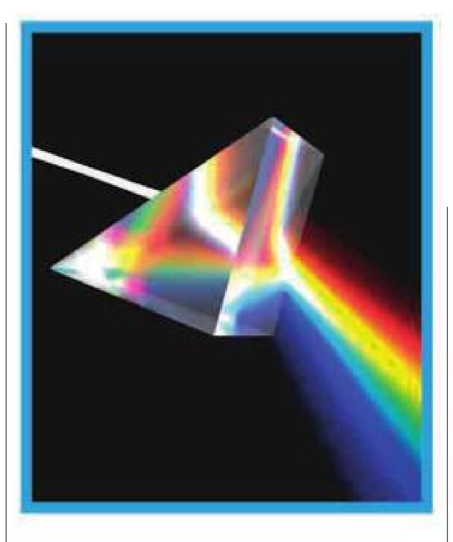
Ver también: Alhazén 28–29 Roberto Hooke 54 Isaac Newton 62–69 Tomás joven 110–11
James Clerk Maxwell 180–85 Albert Einstein 214–21

el efecto de “arco iris” que se ve cuando la luz pasa a través de un prisma se produce porque el prisma de alguna manera ha manchado la luz. Newton demostró que la luz "blanca" que vemos es en realidad una mezcla de diferentes colores de luz, y estos están divididos por un prisma porque todos se refractan en cantidades ligeramente diferentes.

Al igual que muchos filósofos naturales de la época, Newton sostenía que la luz estaba formada por una corriente de partículas o "corpúsculos". Esta idea explicaba cómo la luz viajaba en línea recta y “rebotaba” en las superficies reflectantes. También explicó la refracción en términos de fuerzas en los límites entre diferentes materiales.

Reflexión parcial

Sin embargo, la teoría de Newton no podía explicar cómo, cuando la luz golpea muchas superficies, una parte se refleja y otra se refracta. En 1678, Huygens argumentó que el espacio estaba lleno de partículas ingrávidas (el éter) y que la luz provocaba perturbaciones en el éter que esparcirse en ondas esféricas. La refracción se explicaba así si diferentes materiales (ya fueran éter, agua o vidrio) hacían que las ondas de luz viajaran a diferentes velocidades.



cuando la luz blancapasa a través de un prisma, se refracta en sus partes componentes. Huygens explicó que esto se debe a que las ondas de luz viajan a diferentes velocidades a través de diferentes materiales.

La teoría de Huygens podría explicar por qué tanto la reflexión como la refracción pueden ocurrir en una superficie. También podría explicar la difracción.

Las ideas de Huygens tuvieron poco impacto en ese momento. Esto se debió en parte a la ya gigantesca estatura de Newton como científico. Sin embargo, un

Un siglo más tarde, en 1803, Thomas Young demostró que la luz sí se comporta como una onda, y los experimentos del siglo XX han demostrado que se comporta tanto como una onda como una partícula, aunque hay grandes diferencias entre las "ondas esféricas" de Huygens y nuestros modernos modelos de luz. Huygens dijo que las ondas de luz eran longitudinales cuando pasaban a través de una sustancia: el éter. Las ondas sonoras también son ondas longitudinales, en las que las partículas del sustancia por la que pasa la onda vibra en la misma dirección en que viaja la onda. Nuestra visión moderna de las ondas de luz es que son ondas transversales que se comportan más como ondas de agua. No necesitan materia para propagan (transmiten), mientras que las partículas vibran en ángulo recto (hacia arriba y hacia abajo) con respecto a la dirección de la onda.

cristian huygens

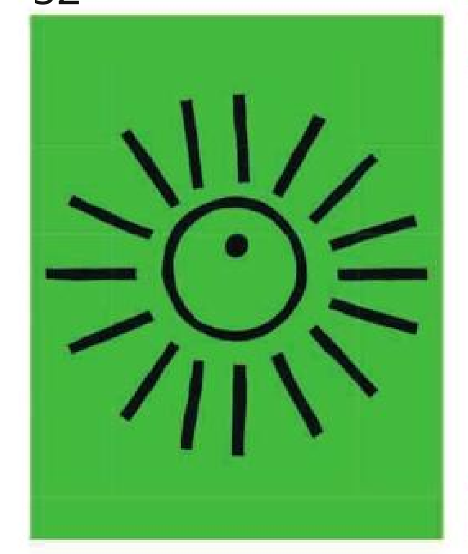


El matemático y astrónomo holandés Christiaan Huygens nació en La Haya en 1629. Estudió derecho y matemáticas en su universidad, luego dedicó algún tiempo a su propia investigación, primero en matemáticas pero luego también en óptica, trabajando en telescopios y puliendo sus propias lentes.

Huygens visitó Inglaterra varias veces y conoció a Isaac Newton en 1689. Además de su trabajo sobre la luz, Huygens había estudiado las fuerzas y el movimiento, pero no aceptaba la idea de Newton de "acción a distancia" para describir la fuerza de gravedad Los amplios logros de Huygens incluyeron algunos de los relojes más precisos de su época, resultado de su trabajo con los péndulos. Su trabajo astronómico, realizado con sus propios telescopios, incluyó el descubrimiento de Titán, la luna más grande de Saturno, y la primera descripción correcta de los anillos de Saturno.

Trabajos clave

1656 *De Saturni Luna Observatio Nova*
1690 *Tratado sobre la luz*



LA PRIMERA OBSERVACIÓN DE UN TRÁNSITO DE VENUS

JEREMÍAS HORROCKS (1618–1641)

EN CONTEXTO

RAMA
Astronomía

ANTES

1543 Nicolaus Copernicus presenta el primer argumento completo a favor de un universo centrado en el Sol (heliocéntrico).

1609johannes kepler propone un sistema de órbitas elípticas, la primera descripción completa del movimiento planetario.

DESPUÉS

1663 El matemático escocés James Gregory idea una forma de medir la distancia exacta de la Tierra al Sol utilizando observaciones de los tránsitos de Venus en 1631 y 1639.

1769 El explorador británico Capitán James Cook observa y registra el tránsito de Venus en Tahití en el Pacífico Sur.

2012 Los astrónomos observan el último tránsito de Venus del siglo XXI.



Los tránsitos planetarios ofrecieron la oportunidad de probar la primera de las tres leyes del movimiento planetario de Johannes Kepler: los planetas orbitan alrededor del Sol en una trayectoria elíptica. Los breves pasajes de Venus y Mercurio a través del disco del Sol —en los tiempos predichos por las Tablas Rudolfinas de Kepler— revelarían si la teoría subyacente era correcta.

La primera prueba, un tránsito de Mercurio en 1631 observado por el astrónomo francés Pierre Gassen, resultó alentadora. Sin embargo, su intento de detectar el tránsito de Venus un mes después fracasó debido a imprecisiones en las cifras de Kepler. Estas mismas cifras predijeron un “casi accidente” entre Venus y el Sol en 1639, pero el astrónomo inglés Jeremiah Horrocks calculó que, de hecho, se produciría un tránsito.

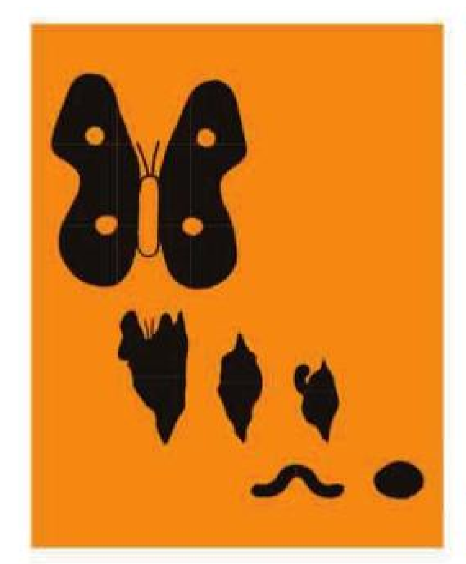
Al amanecer del 4 de diciembre de 1639, Horrocks instaló su mejor telescopio, enfocando el disco solar en un trozo de cartón. Alrededor de las 3:15 p. m., las nubes se despejaron, revelando un "punto de magnitud inusual", Venus, bordeando el Sol. Mientras Horrocks marcó su progreso en la tarjeta, cronometrando cada intervalo, un amigo midió el tránsito en otro lugar. Mediante el uso de los dos conjuntos de medidas desde diferentes puntos de vista, y al volver a calcular el diámetro de Venus en relación con el Sol, Horrocks pudo estimar la distancia de la Tierra al Sol con mayor precisión que nunca.



Recibí mi primera indicación de la notable conjunción de Venus y el Sol… me indujo, a la espera de tan grandioso espectáculo, a observar con mayor atención.
Jeremías Horrocks



Ver también: Nicolás Copérnico 34–39 · Johannes Kepler 40–41



ORGANISMOS DESARROLLAR EN UN SERIE DE PASOS

JAN SWAMMERDAM (1637-1680)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
c.320 antes de Cristo Aristóteles declara que los gusanos y los insectos surgen por generación espontánea.

1651 El médico inglés William Harvey considera que la larva del insecto es un “huevo rastrero” y la pupa un “segundo huevo” con poco desarrollo interno.

1668 El italiano Francesco Redi proporciona evidencia temprana para refutar la generación espontánea.

DESPUÉS
1859 Charles Darwin explica cómo cada etapa de la vida de un insecto se adapta a su actividad y entorno en esa etapa.

1913 El zoólogo italiano Antonio Berlese propone que una larva de insecto eclosiona en una etapa prematura del desarrollo del embrión.

1930 El entomólogo británico Vincent Wigglesworth encuentra que las hormonas controlan los ciclos de vida.

T la metamorfosis de una mariposa de huevo a oruga a crisálida a adulto es un proceso familiar para nosotros hoy en día, pero en el siglo XVII, la reproducción se veía de manera muy diferente. Siguiendo al filósofo griego Aristóteles, la mayoría de la gente creía que la vida, especialmente las criaturas “inferiores” como los insectos, surgían por generación espontánea a partir de materia inerte. La teoría del “preformismo” sostenía que un “superior” organismo tomó su forma completamente madura en su minúsculo comienzo, pero que los animales "inferiores" eran demasiado simples para tener entrañas complejas. En 1669, el pionero microscopista holandés Jan Swammerdam refutó a Aristóteles al diseccionar insectos bajo el microscopio, incluidas mariposas, libélulas, abejas, avispas y hormigas.



En la anatomía de un piojo, encontrarás milagros apilados milagros y verán la sabiduría de Dios manifestada claramente en un punto minucioso.

jan swammerdam



Una nueva metamorfosis

El término "metamorfosis" alguna vez significó la muerte de un individuo seguida por la aparición de otro a partir de sus restos. Swammerdam demostró que las etapas del ciclo de vida de un insecto (hembra adulta, huevo, larva y pupa (o ninfa), adulto) son formas diferentes de la misma criatura. Cada etapa de la vida tiene sus propios órganos internos completamente formados, así como versiones tempranas de los órganos para etapas posteriores. Vistos bajo esta nueva luz, los insectos claramente justificaron más estudios científicos. Swammerdam pasó a ser pionero en la clasificación de insectos en función de su

reproducción y desarrollo, antes de morir de malaria a los 43 años.

Ver también: Robert Hooke 54 · Antonie van Leeuwenhoek 56–57 · John Ray 60–61 · Carlos Linneo 74–75 · Luis Pasteur 156–59



TODOS LOS SERES VIVOS ESTÁN COMPUESTOS DE CÉLULAS

ROBERTO GANCHO (1635-1703)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
c.1600 El primer microscopio compuesto se desarrolla en los Países Bajos, probablemente por Hans Lippershey o Hans y Zacharius Janssen.

1644 El sacerdote italiano y científico autodidacta Giovanni Battista Odierna produce la primera descripción de tejido vivo, usando un microscopio.

DESPUÉS
1674antonia van Leeuwenhoek es el primero en ver organismos unicelulares bajo el microscopio.

1682 Van Leeuwenhoek observa los núcleos dentro de los glóbulos rojos del salmón.

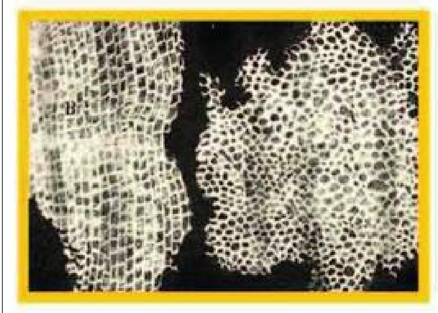
1931 La invención del microscopio electrónico por El físico húngaro Leó Szilárd permite hacer imágenes de mucha mayor resolución.

TEl desarrollo del microscopio compuesto en el siglo XVII abrió un mundo completamente nuevo de estructuras nunca antes vistas. Un microscopio simple consta de una sola lente, mientras que el microscopio compuesto, desarrollado por fabricantes de anteojos holandeses, utiliza dos o más lentes y, por lo general, proporciona un mayor aumento.

El científico inglés Robert Hooke no fue el primero en observar seres vivos usando un microscopio. Sin embargo, con la publicación de su*Micrografía*en 1665, se convirtió en el primer autor de divulgación científica de mayor venta, sorprendiendo a sus lectores con la nueva ciencia de la microscopía. Dibujos precisos en planchas de cobre realizados por el propio Hooke mostraban objetos que el público nunca había visto antes: las anatomías detalladas de piojos y pulgas; los ojos compuestos de una mosca; las delicadas alas de un mosquito. También dibujó algunos objetos hechos por el hombre (la punta afilada de una aguja parecía desafilada bajo el microscopio) y usó sus observaciones para explicar cómo se forman los cristales y lo que sucede cuando el agua se congela. El cronista inglés Samuel Pepys llamó *Micrografía*"el libro más ingenioso que he leído en mi vida."

Describiendo celdas

Uno de los dibujos de Hooke era de una fina lámina de corcho. En la estructura del corcho, notó lo que parecían las paredes que dividen las celdas de los monjes en un monasterio. Estas fueron las primeras descripciones y dibujos registrados de las células, las unidades básicas de las que están hechos todos los seres vivos.



dibujos de Hookede células de corcho muertas muestran espacios vacíos entre las paredes celulares; las células vivas contienen protoplasma. Calculó que había más de mil millones de células en 1 en^3(16cm^3) de corcho.

Ver también: Antonie van Leeuwenhoek 56–57 · Isaac Newton 62–69 · Lynn Margulis 300–01



CAPAS DE ROCA FORMA ENCIMA DE UNOS Y OTROS

NICOLÁS STÉNO (1638–1686)

EN CONTEXTO

RAMA
Geología

ANTES
finales del siglo XV Leonardo da Vinci escribe sobre sus observaciones de la acción de erosión y deposición del viento y el agua en los paisajes y los materiales superficiales.

DESPUÉS
1780 james hutton refiere los principios de Steno a un proceso geológico continuo y cíclico que se remonta en el tiempo.

década de 1810 Georges Cuvier y Alexandre Brongniart en Francia y William Smith en Gran Bretaña aplican los principios de estratigrafía de Steno al mapeo geológico.

1878 El primer Congreso Geológico Internacional en París establece procedimientos para la producción de una escala estratigráfica estándar.

T Los estratos sedimentarios de rocas que componen gran parte de la superficie de la Tierra también forman la base de la historia geológica de la Tierra, que normalmente se representa como una columna de capas con los estratos más antiguos en la parte inferior y los más jóvenes en la parte superior. El proceso de deposición de rocas por el agua y la gravedad se conoce desde hace siglos, pero el obispo y científico danés Niels Stensius, también conocido como Nicolas Steno, fue el primero en describir los principios que subyacen en el proceso. Sus conclusiones, publicadas en 1669, se extrajeron de sus observaciones de estratos geológicos en la Toscana, Italia.

La Ley de superposición de Steno establece que cualquier depósito o estrato sedimentario individual es más joven que la secuencia de estratos sobre los que descansa y más antiguo que los estratos que descansan sobre ellos. Los principios de Steno de horizontalidad original y continuidad lateral establecen que los estratos se depositan como horizontales y capas continuas, y si se encuentran inclinadas, plegadas o rotas, deben haber experimentado tales



Estratos de roca, como se dio cuenta Steno, todos comienzan su vida como capas horizontales, que posteriormente se deforman y tuercen con el tiempo debido a las enormes fuerzas que actúan sobre ellas.

perturbación después de su deposición. Finalmente, su principio de relaciones transversales establece que “si un cuerpo o discontinuidad atraviesa un estrato, debe haberse formado después de ese estrato”.

Las ideas de Steno permitieron el mapeo posterior de los estratos geológicos por parte de William Smith en Gran Bretaña y Georges Cuvier y Alexandre Brongniart en Francia. También permitieron la subdivisión de estratos en unidades relacionadas con el tiempo, que podrían correlacionarse entre sí en todo el mundo.

Ver también: James Hutton 96-101 · Guillermo Smith 115



MICROSCÓPICO OBSERVACIONES DE ANIMALCULOS

ANTONIE VAN LEEUWENHOEK (1632-1723)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
2000antes de Cristo Científicos chinos fabrican un microscopio de agua con una lente de vidrio y un tubo lleno de agua para ver cosas muy pequeñas.

1267 El filósofo inglés Roger Bacon sugiere la idea del telescopio y el microscopio.

c.1600 El microscopio se inventa en los Países Bajos.

1665 Robert Hooke observa células vivas y publica *Micrografía*.

DESPUÉS
1841anatomista suizo Albert von Kölliker encuentra que cada espermatozoide y óvulo es una célula con un núcleo.

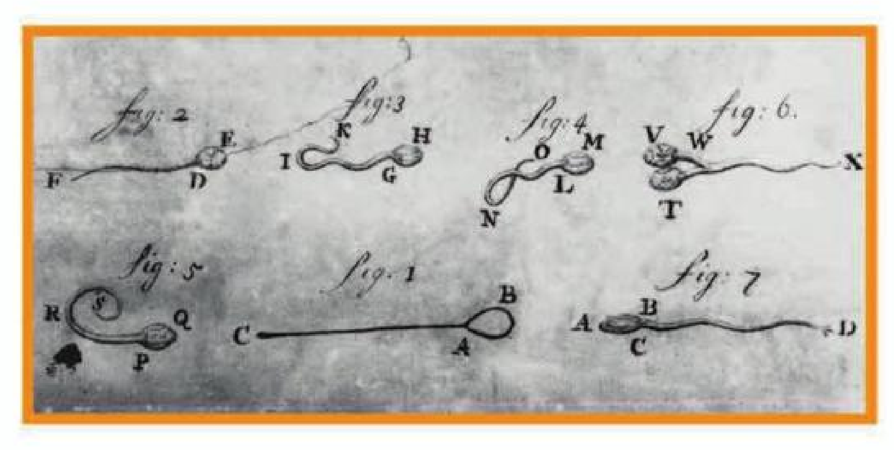
1951 El físico alemán Erwin Wilhelm Müller inventa el microscopio de iones de campo y ve los átomos por primera vez.

Antonie van Leeuwenhoek rara vez se aventuraba lejos de su casa sobre una tienda de telas en Delft en los Países Bajos. Pero trabajando solo en su trastienda, descubrió un mundo completamente nuevo: el mundo de la vida microscópica nunca antes vista, que incluye esperma humano, células sanguíneas y, lo más espectacular de todo, las bacterias.

Antes del siglo XVII, nadie sospechaba que había vida demasiado pequeña para verla a simple vista. Se pensaba que las pulgas eran la forma de vida más pequeña posible. Luego, alrededor de 1600, los fabricantes de anteojos holandeses inventaron el microscopio y juntaron dos lentes de vidrio para aumentar su aumento (p. 54).
En 1665, el científico inglés Robert Hooke hizo el primer dibujo de diminutas células vivas que había visto en un trozo de corcho a través de un microscopio.

Ni a Hooke ni a ningún otro microscopista de la época se le ocurrió buscar vida en cualquier lugar que no pudieran ver con sus propios ojos. Van Leeuwenhoek, por Por el contrario, enfocó sus lentes en lugares donde parecía no haber vida en absoluto, particularmente en líquidos. Estudió gotas de lluvia, placa dental, estiércol, esperma, sangre y mucho más. Fue aquí, en estos

Cuando van Leeuwenhoek dibujosde esperma humano se publicaron por primera vez en 1719, muchas personas no aceptaban que estos diminutos "animálculos" nadadores pudieran existir en el semen.



Ver también: Robert Hooke 54 · Luis Pasteur 156–59
Martinus Beijerinck 196–97 · Lynn Margulis 300–01

microscopiosse puede encender en lugares donde hay sons**sin formas de vida visibles**.

Gran aumento Los microscopios de una sola lente revelan **minúsculos “animálculos”**en agua y otros líquidos.

El mundo está repleto de**microscópico**, unicelular**formas de vida**.

sustancias aparentemente sin vida, que van Leeuwenhoek descubrió la riqueza de la vida microscópica.

A diferencia de Hooke, van Leeuwenhoek no usó un microscopio “compuesto” de dos lentes, sino una sola lente de alta calidad, en realidad una lupa. En ese momento, de hecho, era más fácil producir una imagen clara con microscópicos tan simples. Una ampliación superior a 30 veces era imposible con microscopios compuestos ya que la imagen se volvía borrosa. Van Leeuwenhoek puso a punto su propia lente única
microscopios, y después de años de perfeccionar su técnica, logró un aumento de más de 200 veces. Sus microscopios eran pequeños dispositivos con lentes diminutas de apenas unas fracciones de pulgada (unos pocos milímetros) de ancho. La muestra se colocó en un alfiler en un lado de la lente y van Leeuwenhoek sostuvo un ojo cerca del otro lado.

vida unicelular

Al principio, van Leeuwenhoek no encontró nada inusual, pero luego, en 1674, informó haber visto criaturas diminutas.

más delgado que un cabello humano en una muestra de agua de lago. Estas eran las algas verdes*espirogira*, un ejemplo de las formas de vida simples que ahora se conocen como protistas. Van Leeuwenhoek llamó a estas pequeñas criaturas "animálculos". En octubre de 1676, descubrió bacterias unicelulares aún más pequeñas en gotas de agua. Al año siguiente, describió cómo su propio semen estaba repleto de las pequeñas criaturas que ahora llamamos espermatozoides. A diferencia de las criaturas que había encontrado en el agua, los animálculos del semen eran todos idénticos. Cada uno de los muchos miles que miró tenía la misma cola diminuta y la misma cabeza diminuta, y nada más, y podía verlos nadando como renacuajos en el semen.

Van Leeuwenhoek informó de sus hallazgos en una serie de cientos de cartas a la Royal Society de Londres. Mientras publicaba sus hallazgos, mantuvo en secreto sus técnicas de fabricación de lentes. Es probable que hiciera sus diminutas lentes fusionando finos hilos de vidrio, pero no lo sabemos con certeza.



antonia van Leeuwenhoek

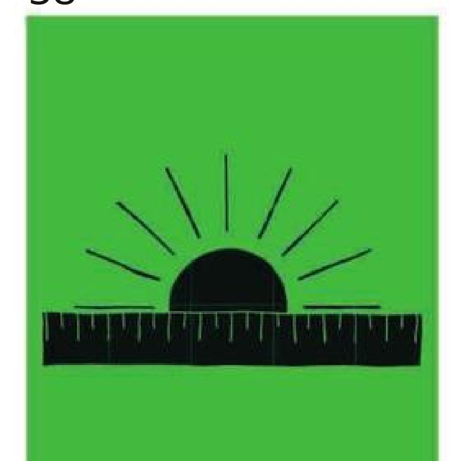
Hijo de un cestero, Antonie van Leeuwenhoek nació en Delft en 1632. Después de trabajar en el negocio de ropa blanca de su tío, abrió su propia tienda de telas a los 20 años y permaneció allí el resto de su larga vida.

de Van Leeuwenhoek
El negocio le dio tiempo para dedicarse a su pasatiempo: la microscopía. Comenzó alrededor de 1668 después de una visita a Londres, donde pudo haber visto una copia de Robert Hooke.*Micrografía*. Desde 1673 en adelante, informó de sus hallazgos en cartas a la Royal Society de Londres, y les escribió más informes que cualquier científico en la historia. La Royal Society inicialmente se mostró escéptica ante los informes del aficionado, pero Hooke repitió muchos de sus experimentos y confirmó sus descubrimientos. Van Leeuwenhoek fabricó más de 500 microscopios, muchos diseñados para ver

objetos específicos.

Trabajos clave

1673*Carta 1, primera carta de van Leeuwenhoek a la Royal Society*
1676*Carta 18, revelando su descubrimiento de las bacterias*



MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA LUZ

OLE RÖMER (1644–1710)

EN CONTEXTO

RAMA
astronomia y fisica

ANTES

1610 Galileo Galilei descubre las cuatro lunas más grandes de Júpiter.

1668 Juan Cassini publica las primeras tablas precisas que predicen los eclipses de las lunas de Júpiter.

DESPUÉS

1729 James Bradley calcula una velocidad de la luz de 185 000 millas/s (301 000 km/s) basándose en las variaciones en las posiciones de las estrellas.

1809 Juan Bautista Delambre utiliza 150 años de observaciones de las lunas de Júpiter para calcular una velocidad de la luz de 186.600 millas/s (300.300 km/s).

1849 Hipólito Fizeau mide la velocidad de la luz en un laboratorio, en lugar de usar datos astronómicos.

eclipsesde Júpiter lunas**no**siempre **predicciones de partidos**.

El**distancia**entre la tierra y jupiter **cambia como los planetas orbitar el sol**.

Si**la luz no se propaga instantaneamente**, esto explica el discrepancias

la velocidad de la luz puede ser calculado a partir de la diferencias horarias y distancias en el sistema solar.

Jupiter tiene muchas lunas, pero solo las cuatro más grandes (Io, Europa, Ganímedes, y Callisto) eran visibles a través de un telescopio en el momento en que Ole Rømer observaba los cielos del norte de Europa, a fines del siglo XVII. Estas lunas se eclipsan cuando pasan a través de la sombra proyectada por Júpiter y en ciertos momentos se pueden observar entrando o saliendo de la sombra, dependiendo de las posiciones relativas de la Tierra y Júpiter alrededor del Sol. Durante casi la mitad del año, los eclipses de las lunas no se pueden observar en absoluto, porque el Sol se encuentra entre la Tierra y Júpiter.

Giovanni Cassini, el director del Observatorio Real de París cuando Rømer comenzó a trabajar allí a fines de la década de 1660, publicó un conjunto de tablas que predecían los eclipses lunares. Conocer las horas de estos eclipses proporcionó una nueva forma de calcular la longitud. La medida de la longitud depende de conocer la diferencia entre la hora en un lugar determinado y la hora en un meridiano de referencia (en este caso, París). Al menos en tierra, ahora era posible calcular la longitud observando la hora de un eclipse.

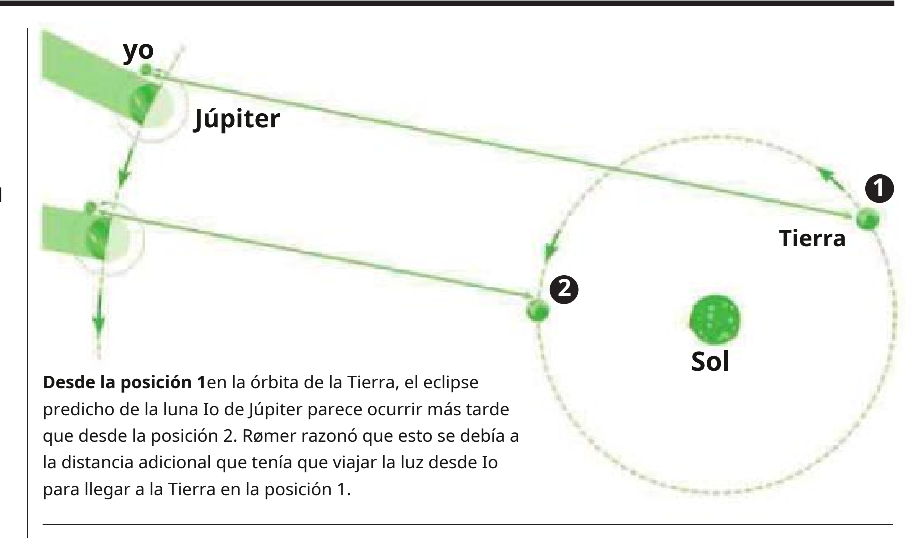
Ver también: Galileo Galilei 42–43 · John Michell 88–89 · León Foucault 136-37

de una de las lunas de Júpiter y comparándola con la hora prevista del eclipse en París.
No era posible sostener un telescopio lo suficientemente estable a bordo de un barco para observar los eclipses, y medir la longitud en el mar siguió siendo imposible hasta que John Harrison construyó los primeros cronómetros marinos, relojes que podían medir el tiempo en el mar, en la década de 1730.

¿Velocidad finita o infinita?

Rømer estudió las observaciones de los eclipses de la luna Io tomadas durante un período de dos años y las comparó con los tiempos predichos por las tablas de Cassini.
Encontró una discrepancia de 11 minutos entre las observaciones tomadas cuando la Tierra estaba más cerca de Júpiter y las tomadas
cuando estaba más lejos. Esta discrepancia no podría explicarse por ninguna de las irregularidades conocidas en las órbitas de la Tierra, Júpiter o
yo Tenía que ser el tiempo que le tomó a la luz recorrer el diámetro de la órbita de la Tierra. Conociendo el diámetro de la órbita de la Tierra, Rømer ahora podía calcular la velocidad de la luz. Produjo una cifra de 133.000 millas / s (214.000 km / s). El valor actual es de 186 282 millas/s (299 792 km/s), por lo que el cálculo de Rømer se equivocó en un 25 por ciento. Sin embargo, esta fue una excelente primera
aproximación, y resolvió la pregunta previamente abierta sobre si la luz tenía una velocidad finita.

En Inglaterra, Isaac Newton aceptó fácilmente la hipótesis de Rømer de que la luz no viajar instantáneamente. Sin embargo, no todos estuvieron de acuerdo con
El razonamiento de Rømer. Cassini señaló que aún no se tenían en cuenta las discrepancias en las observaciones de las otras lunas. Los hallazgos de Rømer no fueron universalmente aceptados hasta que el astrónomo inglés James Bradley produjo su cifra más precisa de la velocidad de la luz en 1729 midiendo la paralaje de las estrellas (p.39).



Desde la posición 1 en la órbita de la Tierra, el eclipse predicho de la luna Io de Júpiter parece ocurrir más tarde que desde la posición 2. Rømer razonó que esto se debía a la distancia adicional que tenía que viajar la luz desde Io para llegar a la Tierra en la posición 1.



Para la distancia de unas 3.000 leguas, que es casi igual al diámetro de la Tierra, la luz no necesita un segundo de tiempo.

Ole Romer



Ole Romer

Nacido en la ciudad danesa de Aarhus en 1644, Ole Rømer estudió en la Universidad de Copenhague. Al salir de la universidad, ayudó a preparar las observaciones astronómicas de Tycho Brahe para su publicación. Rømer también hizo sus propias observaciones, registrando

los tiempos de los eclipses de las lunas de Júpiter desde el antiguo observatorio de Brahe en Uraniborg, cerca de Copenhague. De allí se trasladó a París, donde trabajó en el Observatorio Real. bajo Giovanni Cassini. En 1679 visitó Inglaterra y conoció a Isaac Newton.

Al regresar a la Universidad de Copenhague en 1681, Rømer se convirtió en profesor de astronomía. Participó en la modernización de pesos y medidas, el calendario y los códigos de construcción, e incluso los suministros de agua. Desafortunadamente, sus observaciones astronómicas fueron destruidas en un incendio en 1728.

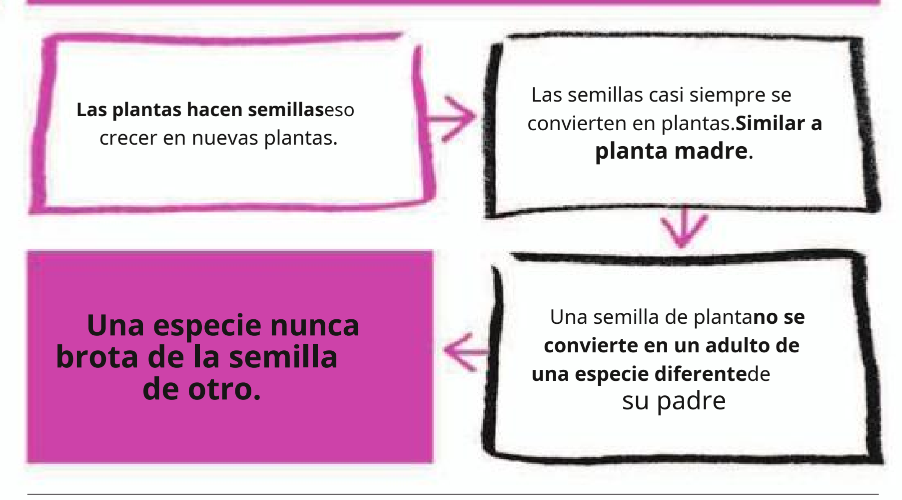
Obra clave

1677 *Sobre el movimiento de la luz*



UNA ESPECIE NUNCA MUELLES DE LA SEMILLA DE OTRO

JUAN RAY (1627-1705)



EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
siglo IVantes de Cristo Los griegos usan los términos “género” y “especie” para describir grupos de cosas similares.

1583 El botánico italiano Andrea Cesalpino clasifica las plantas en base a semillas y frutos.

1623 El botánico suizo Caspar Bauhin clasifica más de 6.000 plantas en su*Exposición Ilustrada de Plantas*.

DESPUÉS
1690 El filósofo inglés John Locke sostiene que las especies son construcciones artificiales.

1735 Carlos Linneo publica *Systema Naturae*, la primera de sus muchas obras clasificando plantas y animales.

1859 Charles Darwin propone la evolución de las especies por selección natural en*En el origen de las especies*.

TEl concepto moderno de especie vegetal o animal se basa en la reproducción. Una especie incluye a todos los individuos que, real o potencialmente, pueden reproducirse juntos para producir descendencia, que a su vez puede hacer lo mismo. Este concepto, introducido por primera vez por el historiador natural inglés John Ray en 1686, todavía sustenta la taxonomía, la ciencia de la clasificación, en la que la genética ahora juega un papel importante.

Enfoque metafísico

Durante este período, el término "especie" era de uso común, pero estaba intrincadamente conectado con la religión y la metafísica, un enfoque persistente desde la antigua Grecia. Los filósofos griegos Platón, Aristóteles y Teofrasto hablaron sobre la clasificación y utilizaron términos como "género" y "especie" para describir grupos y subgrupos de todo tipo de cosas, vivas o inanimadas. Al hacerlo, habían invocado vagas cualidades como "esencia" y "alma". Entonces, los miembros pertenecían a una especie porque compartían la misma "esencia", en lugar de compartir la misma apariencia o la capacidad de reproducirse entre sí.

En el siglo XVII existían innumerables clasificaciones. Muchos estaban organizados en orden alfabético, o

Ver también: Jan Swammerdam 53 · Carlos Linneo 74–75 · cristiano sprengel 104 · Carlos Darwin 142–49 · Michael Syvanen 318–19



Nada se inventa y se perfecciona al mismo tiempo.
Juan Ray




por grupos derivados del folclore, como agrupar las plantas según las enfermedades que podrían tratar. En 1666, Ray regresó de una gira europea de tres años con una gran colección de plantas y animales que él y su colega Francis Willughby tenían la intención de clasificar en líneas más científicas.

Naturaleza práctica

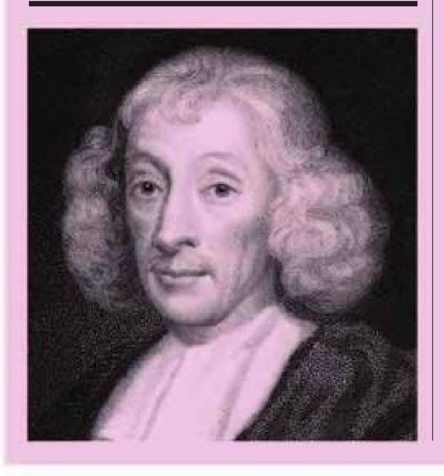
Ray introdujo un nuevo enfoque práctico de observación. Examinó todas las partes de las plantas, desde las raíces hasta las puntas de los tallos y las flores. Alentó los términos "pétalo" y "polen" en el uso general y decidió que el tipo floral debería ser una característica importante para la clasificación, al igual que el tipo de semilla. También introdujo la distinción entre monocotiledóneas (plantas con una sola hoja de semilla) y dicotiledóneas (plantas con dos hojas de semilla). Sin embargo, recomendó un límite en el número de características utilizadas para la clasificación, para evitar que el número de especies se multiplique en proporciones impracticables. Su obra principal, *Historia Plantarum* (*Tratado sobre las plantas*), publicado en tres volúmenes en 1686, 1688 y 1704, contiene más de 18.000 entradas.

Para Ray, la reproducción era la clave para definir una especie. Su propia definición provino de su experiencia recolectando especímenes, sembrando semillas y observando su germinación: "no se me ha ocurrido un criterio más seguro para determinar las especies [vegetales] que las características distintivas que se perpetúan en la propagación a partir de semillas... Los animales que difieren específicamente conservan sus distintas especies permanentemente; una especie nunca brota de la semilla de otro ni viceversa." Ray estableció la base de un grupo de crianza pura por el cual una especie todavía se define hoy. Al hacerlo, hizo actividades científicas de botánica y zoología. Devotamente religioso, Ray vio su trabajo como un medio para mostrar las maravillas de Dios.



El trigo es una monocotiledónea. (una planta cuya semilla contiene una sola hoja) como lo define Ray. Alrededor de 30 especies de este importante cultivo alimentario han evolucionado a partir de 10.000 años de cultivo, y todas ellas pertenecen al género *Triticum*.

Juan Ray



Nacido en 1627 en Black Notley, Essex, Inglaterra, John Ray era hijo del herrero del pueblo y del herbolario local. A los 16, fue a la Universidad de Cambridge, donde estudió mucho y dio conferencias sobre temas que iban desde el griego hasta las matemáticas, antes de unirse al sacerdocio en 1660. Para recuperarse de una enfermedad en 1650, había dado paseos por la naturaleza y desarrolló un interés por la botánica.

Acompañado por su adinerado estudiante y partidario Francis Willughby, Ray viajó por Gran Bretaña y Europa en la década de 1660, estudiando y recolectando plantas y animales.

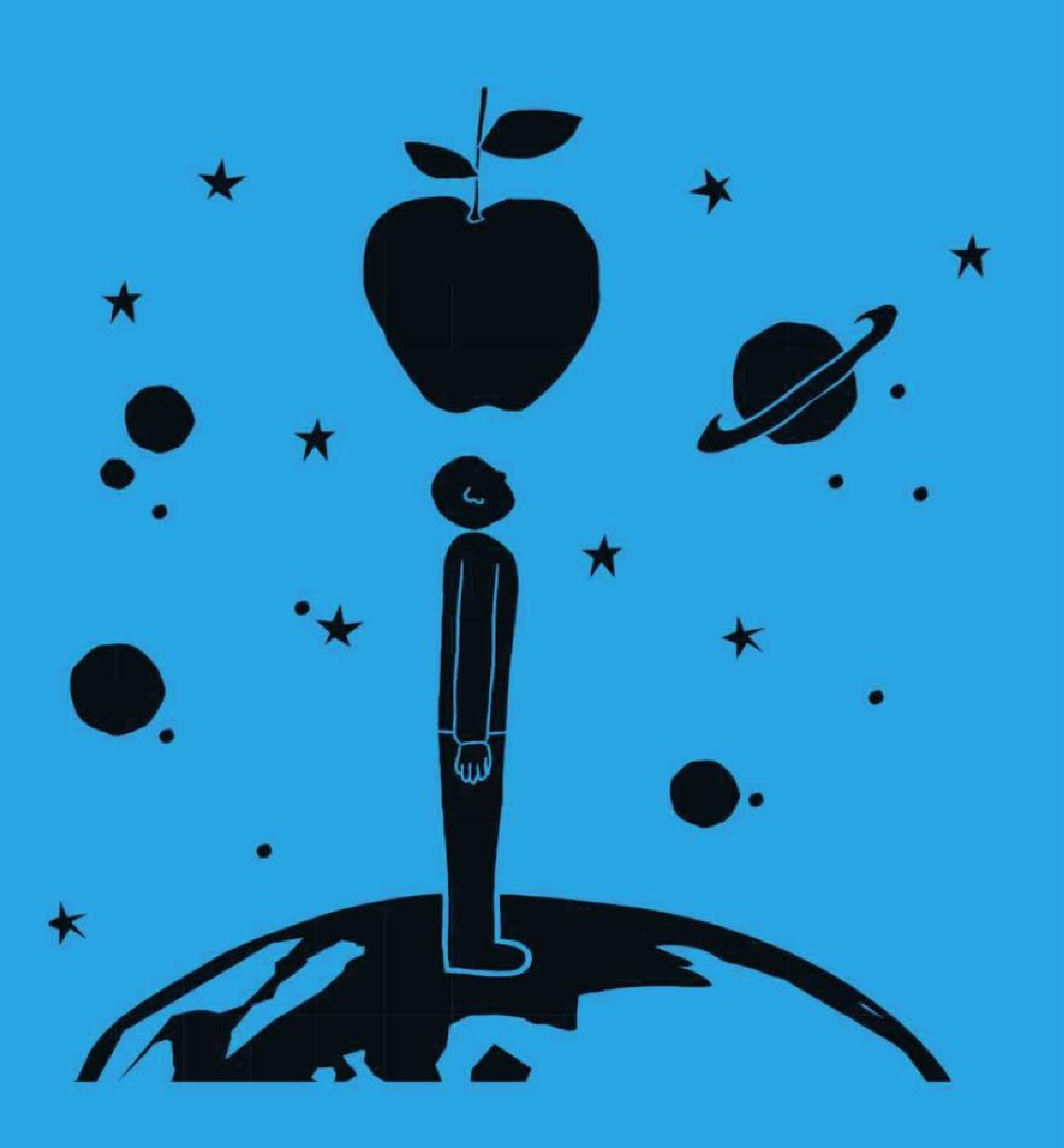
Se casó con Margaret Oakley en 1673 y, después de dejar la casa de Willughby, vivió tranquilamente en Black Notley hasta los 77 años. Pasó sus últimos años estudiando especímenes para armar catálogos de plantas y animales cada vez más ambiciosos. Escribió más de 20 obras sobre plantas y animales y su taxonomía, forma y función, y sobre teología y sus viajes.

Obra clave

1686-1704 *Historia Plantarum*

GRAVEDAD AFECTA TODO EN EL UNIVERSO

ISAAC NEWTON (1642-1727)



EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES

1543 Nicolaus Copernicus argumenta que los planetas giran alrededor del Sol, no de la Tierra.

1609 Johannes Kepler sostiene que los planetas se mueven libremente en órbitas elípticas alrededor del Sol.

1610 El apoyo de las observaciones astronómicas de Galileo Las opiniones de Copérnico.

DESPUÉS

1846 Johann Galle descubre Neptuno después del francés el matemático Urbain Le Verrier usa las leyes de Newton para calcular dónde debería estar.

1859 Le Verrier informa que la mecánica newtoniana no explica la órbita de Mercurio.

1915 Con su teoría general de la relatividad, Albert Einstein explica la gravedad en términos de la curvatura del espacio-tiempo.

¿Por qué la manzana**siempre cae hacia abajo**, nunca hacia los lados o hacia arriba?

debe haber un**atracción hacia el centro de la tierra**.

¿Podría esta atracción extenderse más allá de la manzana,**y llegar hasta la luna**? En ese caso, afectaría la órbita de la Luna.

¿Podría realmente**causa**la órbita de la ¿Luna? En ese caso...

La gravedad afecta todo en el universo.

A En la época en que nació Isaac Newton, el modelo heliocéntrico del universo, en el que la Tierra y los demás planetas giran alrededor del Sol, era la explicación aceptada para los movimientos observados del Sol, la Luna y los planetas. Este modelo no era nuevo, pero había vuelto a la prominencia cuando Nicolaus Copernicus publicó sus ideas al final de su vida en 1543. En el modelo de Copérnico, la Luna y cada uno de los planetas giraban en su propia esfera cristalina alrededor del Sol, con una esfera exterior sosteniendo el estrellas "fijas". Este modelo fue reemplazado cuando Johannes Kepler publicó sus leyes del movimiento planetario en 1609. Kepler prescindió de las esferas cristalinas de Copérnico y mostró que las órbitas de los planetas eran elipses, con el Sol en un foco de cada elipse. También describió cómo cambia la velocidad de un planeta a medida que se mueve.

Lo que les faltaba a todos estos modelos del universo era una explicación de por qué los planetas se movían de la forma en que lo hacían. Aquí es donde Entró Newton. Se dio cuenta de que la fuerza que tiraba de un manzana hacia el centro de la Tierra era la misma fuerza que mantenía a los planetas en sus órbitas alrededor del Sol, y demostró matemáticamente cómo esta fuerza cambiaba con la distancia. Las matemáticas que usó involucraron las tres Leyes del Movimiento de Newton y su Ley de Gravitación Universal.

Ideas cambiantes

Durante siglos, el pensamiento científico había estado dominado por las ideas de Aristóteles, quien llegaba a sus conclusiones sin realizar experimentos para comprobarlas. Aristóteles

Ver también: Nicolás Copérnico 34–39 Johannes Kepler 40–41 Galileo Galilei 42–43 Christian Huygens 50–51 William Herschel 86–87 Albert Einstein 214–21

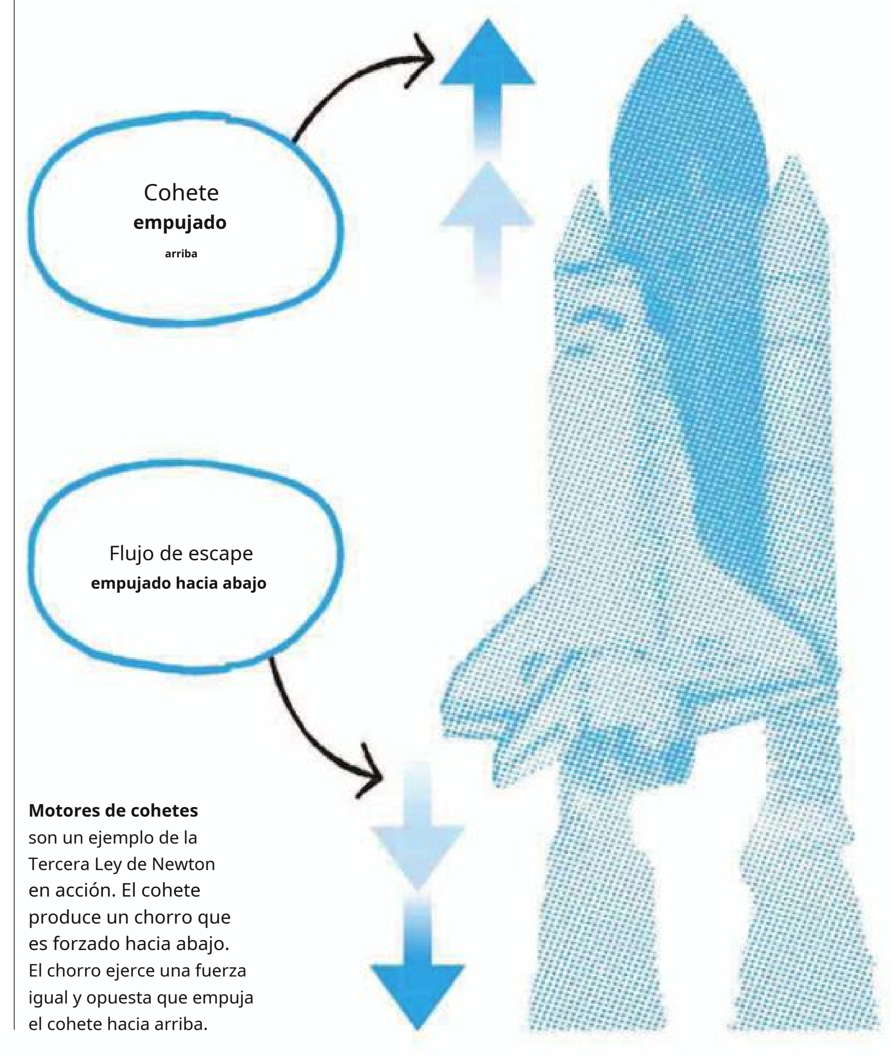
enseñó que los objetos en movimiento solo seguían moviéndose mientras eran empujados, y que los objetos pesados caían más rápido que los más livianos. Aristóteles explicó que los objetos pesados caían a la Tierra porque se movían hacia su lugar natural. También dijo que los cuerpos celestes, al ser perfectos, deben moverse en círculos a velocidades constantes.

A Galileo Galilei se le ocurrió un conjunto diferente de ideas, a las que llegó a través de la experimentación. Observó pelotas corriendo por rampas y demostró que todos los objetos caen a la misma velocidad si la resistencia del aire es mínima. También concluyó que los objetos en movimiento continúan moviéndose a menos que una fuerza, como la fricción, actúe para frenarlos. El principio de inercia de Galileo era convertirse en parte de la Primera Ley del Movimiento de Newton. Dado que la fricción y la resistencia del aire actúan sobre todos los objetos en movimiento que encontramos en la vida diaria, el concepto de fricción no es inmediatamente obvio. Fue solo mediante una experimentación cuidadosa que Galileo pudo demostrar que la fuerza que mantiene algo en movimiento a una velocidad constante solo era necesaria para contrarrestar la fricción.

Leyes del movimiento

Newton experimentó en muchas áreas de interés, pero no sobreviven registros de sus experimentos sobre el movimiento. Sus tres leyes, sin embargo, se han verificado en muchos experimentos y se cumplen para velocidades muy por debajo de la velocidad de la luz. Newton estableció su primera ley como: "Todo cuerpo persevera en su estado de reposo, o de movimiento uniforme en línea recta, a menos que sea obligado a cambiar ese estado por fuerzas impresas en él". En otras palabras, un estacionario el objeto solo comenzará a moverse si una fuerza actúa sobre él, y un objeto en movimiento continúa moviéndose con velocidad constante a menos que una fuerza actúe sobre él. Aquí, la velocidad significa tanto la dirección de un objeto en movimiento como su velocidad. Entonces, un objeto solo cambiará su velocidad o cambiará de dirección si una fuerza actúa sobre él. La fuerza que es importante es la fuerza neta. Un automóvil en movimiento tiene muchas fuerzas sobre él, incluida la fricción y la resistencia del aire, y también el motor que impulsa las ruedas. Si las fuerzas empujar el automóvil hacia adelante equilibra las fuerzas que intentan reducir la velocidad, no hay fuerza neta y el automóvil mantendrá una velocidad constante.

La segunda ley de Newton establece que la aceleración (un cambio de velocidad) de un cuerpo depende del tamaño de la fuerza que actúa sobre él y, a menudo, se escribe como *F*=*mamá*, dónde *F* es fuerza, *metro* es masa y *a* es aceleración. Esto demuestra que cuanto mayor es la fuerza sobre un cuerpo, mayor es la aceleración.



Motores de cohetes son un ejemplo de la Tercera Ley de Newton en acción. El cohete produce un chorro que es forzado hacia abajo. El chorro ejerce una fuerza igual y opuesta que empuja el cohete hacia arriba.

También muestra que la aceleración depende de la masa de un cuerpo.
Para una fuerza dada, un cuerpo con una masa pequeña acelerará más rápido que uno con una masa mayor.

La Tercera Ley se establece como "Por cada acción hay una reacción igual y opuesta". Significa que todas las fuerzas existen en pares: si un objeto ejerce una fuerza sobre un segundo objeto, entonces el segundo objeto ejerce simultáneamente una fuerza sobre el primer objeto, y ambas fuerzas son iguales y opuestas. A pesar del término “acción”, no se requiere movimiento para que esto sea cierto. Esto está ligado a las ideas de Newton sobre la gravedad, ya que un ejemplo de su Tercera Ley es la atracción gravitatoria entre cuerpos. No solo la Tierra está tirando de la Luna, sino que la Luna está tirando de la Tierra con la misma fuerza.



No he podido descubrir la causa de estos propiedades de la gravedad de los fenómenos, y enmarco sin hipótesis.
isaac newton



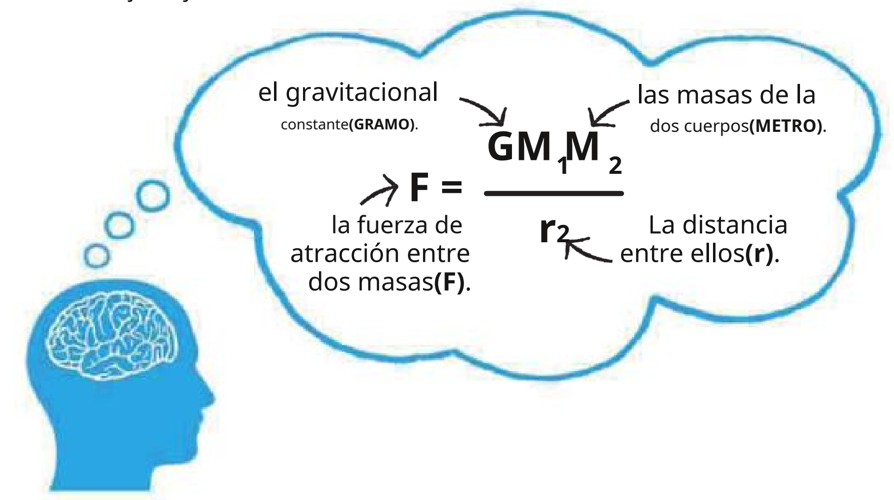
atracción universal

Newton comenzó a pensar en la gravedad a fines de la década de 1660, cuando se retiró al pueblo de Woolsthorpe durante un par de años para evitar la peste que asolaba Cambridge. En ese momento, varias personas sugirieron que había una fuerza de atracción del Sol y que el tamaño de esta fuerza era inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. En otras palabras, si se duplica la distancia entre el Sol y otro cuerpo, la fuerza entre ellos es solo una cuarta parte de la fuerza original. Sin embargo, no se pensó que esta regla pudiera aplicarse cerca de la superficie de un gran cuerpo como la Tierra.
Newton, al ver caer una manzana de un árbol, razonó que la Tierra debía estar atrayendo a la manzana y, dado que la manzana siempre caía perpendicular al suelo, su dirección de caída estaba dirigida al centro de la Tierra. Entonces, la fuerza de atracción entre la Tierra y la manzana debe actuar como si se originara en el centro de la Tierra. Estas ideas abrieron el camino para tratar el Sol y los planetas como pequeños puntos con grandes masas, lo que facilitó mucho los cálculos al medir desde sus centros. Newton no vio ninguna razón para pensar que la fuerza que hacía caer una manzana fuera diferente de las fuerzas que mantenían a los planetas en sus órbitas. La gravedad, entonces, era una fuerza universal.

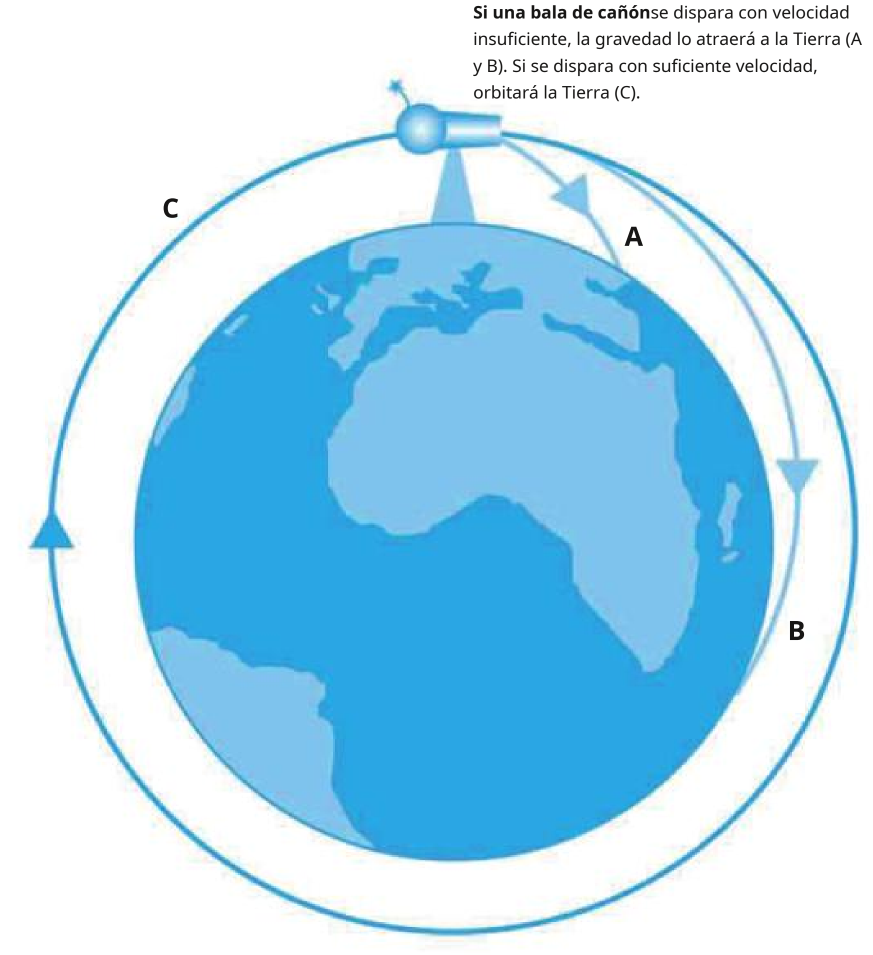
Si la teoría de la gravedad de Newton se aplica a los cuerpos que caen, M_1 es la masa de la Tierra y M_2 es la masa del objeto que cae. Entonces, cuanto mayor es la masa de un objeto, mayor es la fuerza que lo empuja hacia abajo. Sin embargo, la Segunda Ley de Newton nos dice que una masa más grande no acelera tan rápido como una más pequeña si la fuerza es la misma. Por lo tanto, se necesita la mayor fuerza para acelerar la mayor masa, y todos los objetos caen a la misma velocidad, siempre que no haya otras fuerzas, como la resistencia del aire, que compliquen las cosas. Sin la resistencia del aire, un martillo y una pluma caerán a la misma velocidad, un hecho finalmente demostrado en 1971 por el astronauta Dave Scott, quien llevó a cabo el experimento en la superficie de la Luna durante la misión Apolo 15.

Newton describió un experimento mental para explicar las órbitas en un borrador inicial del *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Imaginó un cañón en una montaña muy alta, disparando balas de cañón horizontalmente a velocidades cada vez más altas. Cuanto mayor sea la velocidad en

Ley de la gravedad de Newton produce la siguiente ecuación, que muestra cómo la fuerza producida depende de la masa de los dos objetos y del cuadrado de la distancia entre ellos.



Si una bala de cañónse dispara con velocidad insuficiente, la gravedad lo atraerá a la Tierra (A y B). Si se dispara con suficiente velocidad, orbitará la Tierra (C).



experimento mental de newtondescribió un cañón disparado horizontalmente desde una alta montaña. Cuanto mayor es la fuerza que dispara la bala de cañón, más lejos viaja antes de caer al suelo. Si se dispara lo suficientemente fuerte, viajará alrededor del planeta de regreso a la montaña.

que se dispara una bola, más lejos caerá. Si se lanza lo suficientemente rápido, no aterrizará en absoluto, sino que continuará alrededor de la Tierra hasta llegar a la cima de la montaña. De la misma manera, un satélite puesto en órbita a la velocidad correcta seguirá dando vueltas alrededor de la Tierra. El satélite está siendo acelerado continuamente por la gravedad de la Tierra. Se mueve a una velocidad constante, pero su dirección cambia continuamente, por lo que gira alrededor del planeta en lugar de volando hacia el espacio en línea recta. En este caso, la gravedad de la Tierra solo cambia la dirección de la velocidad del satélite, no su velocidad.

publicando las ideas

En 1684, Robert Hooke se jactó ante sus amigos Edmond Halley y Christopher Wren de haber descubierto las leyes del movimiento planetario. Halley era amigo de Newton y le preguntó sobre esto. Newton dijo que ya había resuelto el problema,



Para mí solo soy un niño que juega en la playa, mientras vastos océanos de verdad yacen sin descubrir ante mí.

isaac newton



pero había perdido sus notas. Halley animó a Newton a rehacer el trabajo y, como resultado, Newton produjo*Sobre el movimiento de los cuerpos en una órbita*, un breve manuscrito enviado a la Royal Society en 1684. En este artículo, Newton demostró que el movimiento elíptico de los planetas que describió Kepler resultaría de una fuerza que empuja todo hacia el Sol, donde esa fuerza es inversamente proporcional a la

distancia entre los cuerpos. Newton amplió este trabajo e incluyó otros trabajos sobre fuerzas y movimiento en el*principios matemáticos,*que se publicó en tres volúmenes y contenía, entre otras cosas, la Ley de la Gravitación Universal y las tres Leyes del Movimiento de Newton. Los volúmenes fueron escritos en latín, y no fue hasta 1729 que se publicó la primera traducción al inglés, basada en la tercera edición de Newton del *Principios matemáticos*.

Hooke y Newton ya se habían peleado por las críticas de Hooke a la teoría de la luz de Newton. Sin embargo, tras la publicación de Newton, gran parte del trabajo de Hooke sobre el movimiento planetario quedó oscurecido. Sin embargo, Hooke no había sido el único en sugerir tal ley, y no había demostrado que fuera



leyes de newtonproporcionó las herramientas para calcular las órbitas de los cuerpos celestes como el cometa Halley, que se muestra aquí en el Tapiz de Bayeux después de su aparición en 1066.

trabajó. Newton había demostrado que su Ley de la Gravitación Universal y las leyes del movimiento podían usarse matemáticamente para describir las órbitas de los planetas y los cometas, y que estas descripciones coincidían con las observaciones.

Recepción escéptica

Las ideas de Newton sobre la gravedad no fueron bien recibidas en todas partes. La “acción a distancia” de la fuerza de gravedad de Newton, sin forma de explicar cómo o por qué sucedió, fue vista como un
idea "oculta". El propio Newton se negó a especular sobre la naturaleza de la gravedad. Para él, era suficiente haber demostrado que la idea de una atracción del cuadrado inverso podría explicar los movimientos planetarios, así que las matemáticas eran correctas. Sin embargo, las leyes de Newton describieron tantos fenómenos que pronto llegaron a ser ampliamente aceptadas, y hoy en día la unidad de fuerza utilizada internacionalmente lleva su nombre.



¿Por qué esa manzana siempre debe descender perpendicularmente al suelo?, pensó para sí mismo...

william stukeley



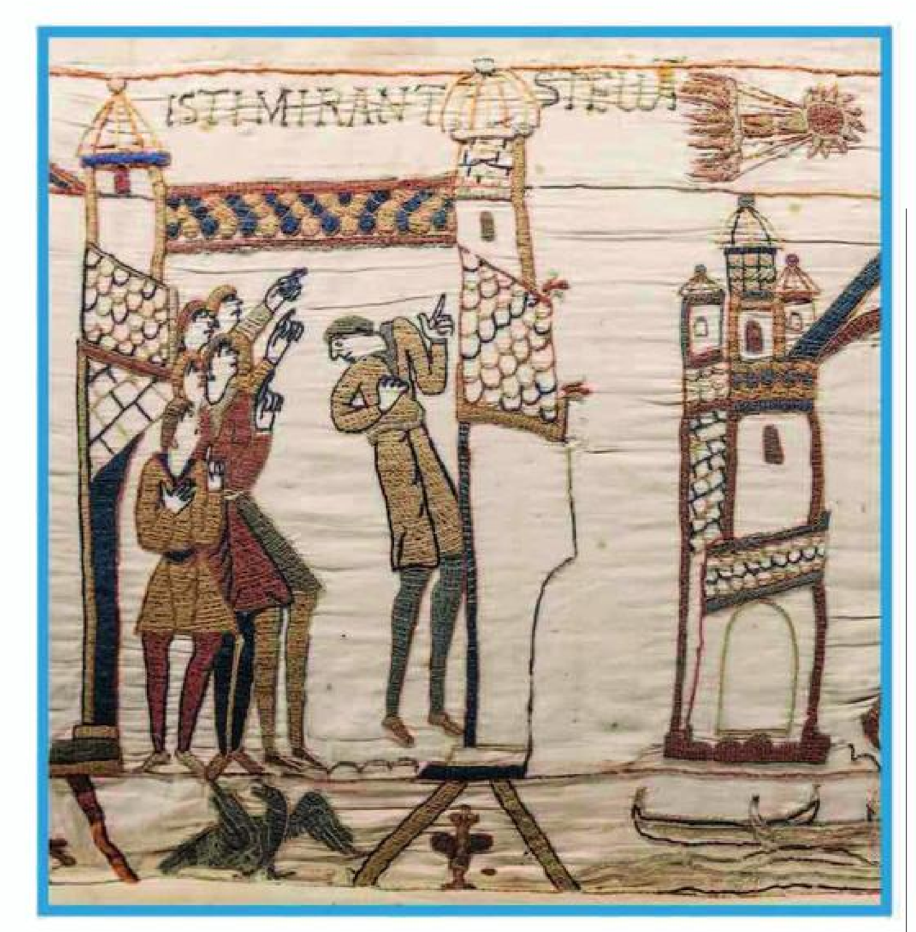
Usando las ecuaciones

Edmond Halley usó las ecuaciones de Newton para calcular la órbita de un cometa visto en 1682 y demostró que era el mismo cometa que el observado en 1531 y 1607. El cometa ahora se llama cometa Halley. Halley con éxito
predijo que regresaría en 1758, que fue 16 años después de su muerte. Esta fue la primera vez que se demostró que los cometas orbitan alrededor del Sol. El cometa Halley pasa cerca de la Tierra cada 75 o 76 años y era el mismo cometa que se vio en 1066 antes de la Batalla de Hastings en el sur de Inglaterra.

Las ecuaciones también se utilizaron con éxito para descubrir un nuevo planeta. Urano es el séptimo planeta desde el Sol, y William Herschel lo identificó como planeta en 1781. Herschel encontró el planeta por casualidad mientras realizaba cuidadosas observaciones del cielo nocturno. Otras observaciones de Urano permitieron a los astrónomos calcular su órbita y producir tablas que predijeran dónde podría estar.
observado en fechas futuras. Sin embargo, estas predicciones no siempre fueron correctas, lo que llevó a la idea de que debe haber otro planeta más allá de Urano cuya gravedad estaba afectando la órbita de Urano. Para 1845, los astrónomos habían calculado dónde debería estar este octavo planeta en el cielo, y Neptuno fue descubierto en 1846.

Problemas con la teoría

Para un planeta con una órbita elíptica, el punto de máxima aproximación al Sol se llama perihelio. Si hubiera un solo planeta orbitando el



leyes de newtonproporcionó las herramientas para calcular las órbitas de los cuerpos celestes como el cometa Halley, que se muestra aquí en el Tapiz de Bayeux después de su aparición en 1066.

trabajó. Newton había demostrado que su Ley de la Gravitación Universal y las leyes del movimiento podían usarse matemáticamente para describir las órbitas de los planetas y los cometas, y que estas descripciones coincidían con las observaciones.

Recepción escéptica

Las ideas de Newton sobre la gravedad no fueron bien recibidas en todas partes. La "acción a distancia" de la fuerza de gravedad de Newton, sin forma de explicar cómo o por qué sucedió, fue vista como un
idea "oculta". El propio Newton se negó a especular sobre la naturaleza de la gravedad. Para él, era suficiente haber demostrado que la idea de una atracción del cuadrado inverso podría explicar los movimientos planetarios,

así que las matemáticas eran correctas. Sin embargo, las leyes de Newton describieron tantos fenómenos que pronto llegaron a ser ampliamente aceptadas, y hoy en día la unidad de fuerza utilizada internacionalmente lleva su nombre.



¿Por qué esa manzana siempre debe descender perpendicularmente al suelo?, pensó para sí mismo...

william stukeley



Usando las ecuaciones

Edmond Halley usó las ecuaciones de Newton para calcular la órbita de un cometa visto en 1682 y demostró que era el mismo cometa que el observado en 1531 y 1607. El cometa ahora se llama cometa Halley. Halley con éxito
predijo que regresaría en 1758, que fue 16 años después de su muerte. Esta fue la primera vez que se demostró que los cometas orbitan alrededor del Sol. El cometa Halley pasa cerca de la Tierra cada 75 o 76 años y era el mismo cometa que se vio en 1066 antes de la Batalla de Hastings en el sur de Inglaterra.

Las ecuaciones también se utilizaron con éxito para descubrir un nuevo planeta. Urano es el séptimo planeta desde el Sol, y William Herschel lo identificó como planeta en 1781. Herschel encontró el planeta por casualidad mientras realizaba cuidadosas observaciones del cielo nocturno. Otras observaciones de Urano permitieron a los astrónomos calcular su órbita y producir tablas que predijeran dónde podría estar.
observado en fechas futuras. Sin embargo, estas predicciones no siempre fueron correctas, lo que llevó a la idea de que debe haber otro planeta más allá de Urano cuya gravedad estaba afectando la órbita de Urano. Para 1845, los astrónomos habían calculado dónde debería estar este octavo planeta en el cielo, y Neptuno fue descubierto en 1846.

Problemas con la teoría

Para un planeta con una órbita elíptica, el punto de máxima aproximación al Sol se llama perihelio. Si hubiera un solo planeta orbitando el

Sol, el perihelio de su órbita quedaría en el mismo lugar. Sin embargo, todos los planetas de nuestro sistema solar se afectan entre sí, por lo que el perihelio precede (rota) alrededor del Sol. Como todos los demás planetas, el perihelio de Mercurio tiene precesión, pero la precesión no puede explicarse completamente usando las ecuaciones de Newton. Esto fue reconocido como un problema en 1859. Más de 50 años después, la Teoría de la Relatividad General de Einstein describió la gravedad como un efecto de la curvatura del espacio-tiempo, y los cálculos basados en esta teoría dan cuenta de la precesión observada de la órbita de Mercurio, así como de otras observaciones no vinculadas a las leyes de Newton.

Las leyes de Newton hoy

Las leyes de Newton forman la base de lo que se conoce como "mecánica clásica", un conjunto de ecuaciones utilizadas para calcular los efectos de las fuerzas y el movimiento. Aunque estas leyes han sido reemplazadas por ecuaciones basadas en las teorías de la relatividad de Einstein, los dos conjuntos de leyes concuerdan siempre que cualquier movimiento involucrada es pequeña comparada con la velocidad de la luz. Entonces, para los cálculos involucrados en el diseño de aviones o automóviles, o para averiguar qué tan fuertes deben ser los componentes de un rascacielos, las ecuaciones de la mecánica clásica son lo suficientemente precisas y mucho más simples de usar. La mecánica newtoniana, si bien puede no ser estrictamente correcta, todavía se usa ampliamente.



La naturaleza y las leyes de la naturaleza yacían escondidas en la noche; Dios dijo "Que Newton sea" y todo fue luz.

Alejandro Papa






la precesión(cambio en el eje de rotación) de la órbita de Mercurio fue el primer fenómeno que no pudo ser explicado por las leyes de Newton.



isaac newton

Nacido el día de Navidad de 1642, Isaac Newton asistió a la escuela en Grantham, antes de estudiar en el Trinity College de Cambridge, donde se graduó en 1665. Durante su vida, Newton fue profesor de matemáticas en Cambridge, maestro de la Royal Mint, miembro de Parlamento de la Universidad de Cambridge y presidente de la Royal Society. Además de su disputa con Hooke, Newton se involucró en una disputa con el matemático alemán Gottfried Leibnitz sobre la prioridad en el desarrollo del cálculo.

Además de su trabajo científico, Newton pasó mucho tiempo en investigaciones alquímicas e interpretación bíblica. Un cristiano devoto pero poco ortodoxo, logró evitar ser ordenado sacerdote, lo que normalmente era un requisito para algunos de los cargos que ocupaba.

Trabajos clave

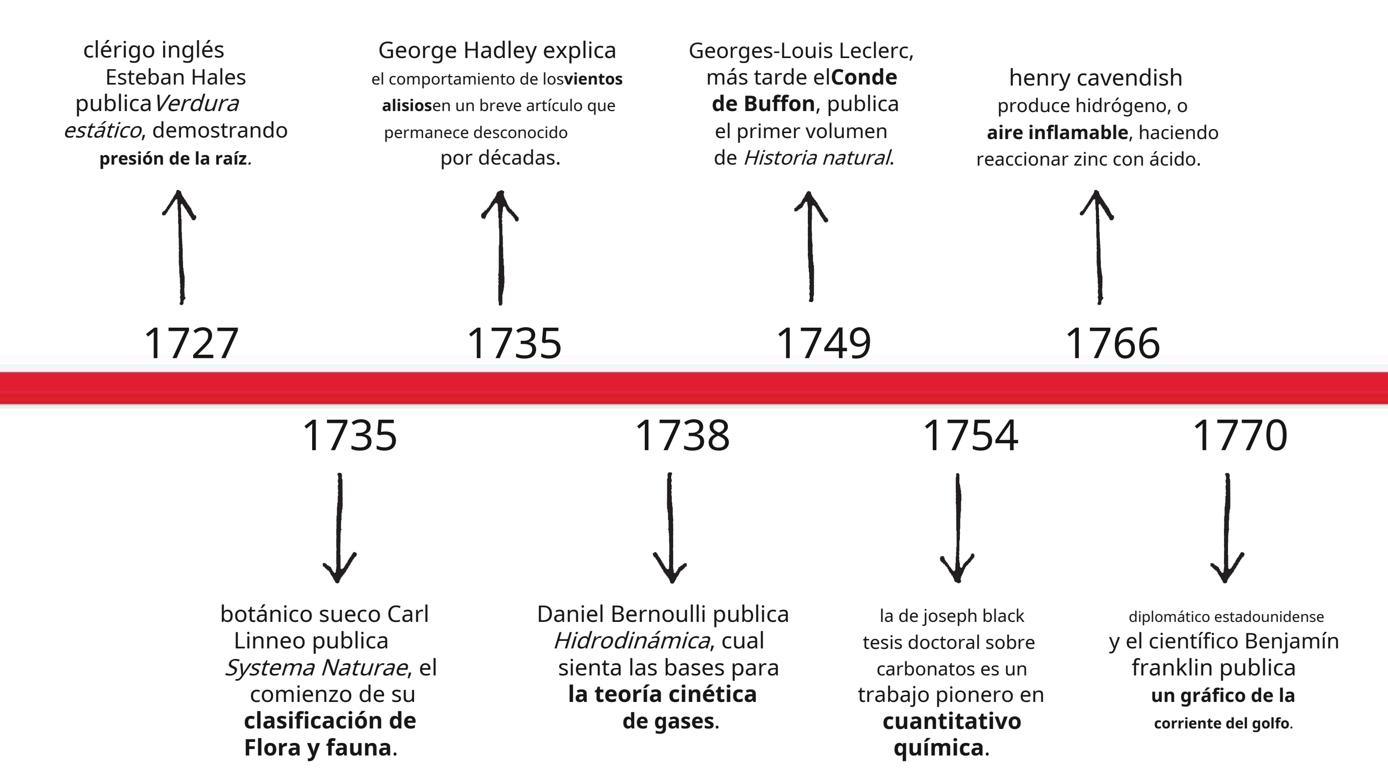
1684 *Sobre el movimiento de los cuerpos en una órbita*
1687 *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*
1704 *óptica*

EXPANDIR

HORIZONTAL

1700-1800

NG
S



Al final del siglo XVII, Isaac Newton estableció sus leyes del movimiento y la gravedad, haciendo que la ciencia fuera más precisa y matemática que nunca. Los científicos de diversos campos identificaron los principios subyacentes que rigen el universo, y las diversas ramas de la investigación científica se especializaron cada vez más.

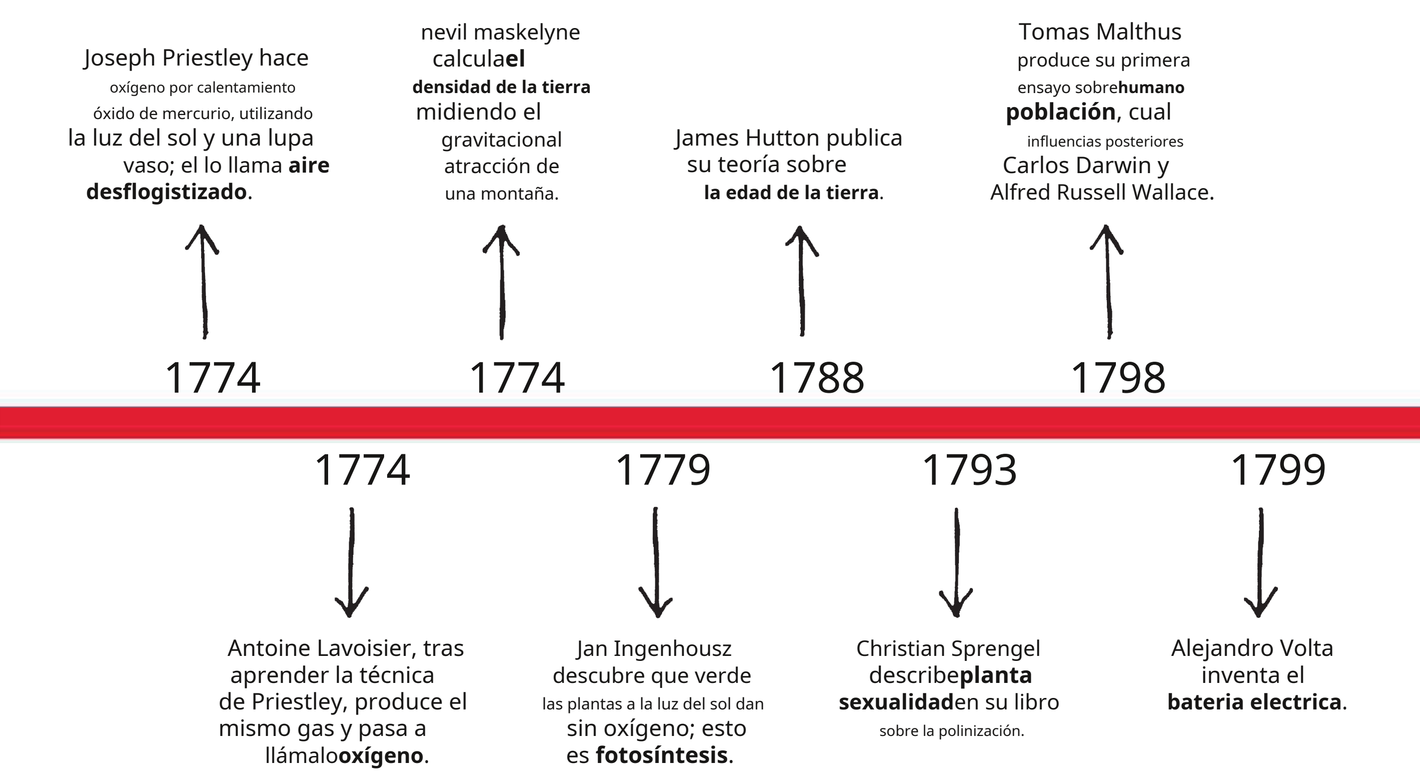
Dinámica de fluidos

En la década de 1720, Stephen Hales, un cura inglés, realizó una serie de experimentos con plantas, descubrió la presión de la raíz, por la cual la savia se eleva a través de las plantas, e inventó el canal neumático, un aparato de laboratorio para recolectar gases, que resultaría útil para el trabajo posterior identificando los componentes del aire.

Daniel Bernoulli, el más brillante de una familia de matemáticos suizos, formuló el principio de Bernoulli según el cual la presión de un fluido disminuye cuando se mueve. Esto le permitió medir la presión arterial.
También es el principio que permite volar a los aviones.

En 1754, el químico escocés Joseph Black, quien más tarde formularía la teoría del calor latente, produjo una notable tesis doctoral sobre la descomposición del carbonato de calcio y la generación de “aire fijo” o dióxido de carbono. Esto provocó una reacción en cadena de investigación y descubrimiento químico. En Inglaterra, el genio solitario Henry Cavendish aisló gas hidrógeno y demostró que el agua está compuesta de dos partes de hidrógeno por una de oxígeno. Ministro disidente Joseph Priestley aislado oxígeno y varios otros gases nuevos. El holandés Jan Ingenhousz continuó donde lo dejó Priestley y mostró cómo las plantas verdes emiten oxígeno a la luz del sol y dióxido de carbono en la oscuridad. Mientras tanto, en Francia, Antoine Lavoisier demostró que muchos elementos, incluidos el carbono, el azufre y el fósforo, se queman al combinarse con el oxígeno para formar lo que ahora llamamos óxidos, desacreditando así la teoría de que los materiales combustibles contienen una sustancia llamada flogisto que los hace arder. (Desafortunadamente, los revolucionarios franceses enviarían a Lavoisier a la guillotina).

En 1793, el químico francés Joseph Proust descubrió que los elementos químicos casi siempre se combinan en proporciones definidas. Este fue un paso vital para descubrir las fórmulas de compuestos simples.

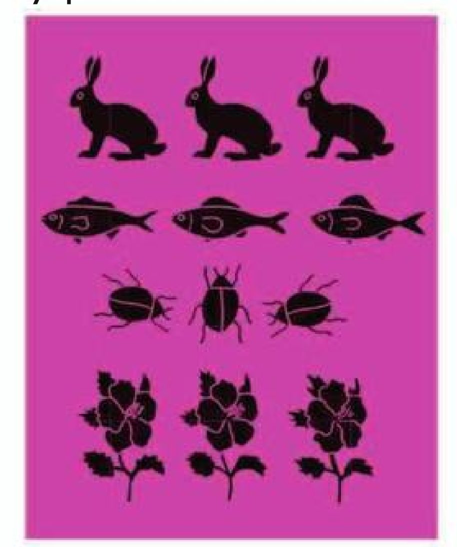


Ciencias de la Tierra
En el otro extremo de la escala, la comprensión de los procesos de la Tierra estaba logrando grandes avances. En América, Benjamin Franklin, además de realizar un peligroso experimento para demostrar que los rayos son una forma de electricidad, demostró la existencia de corrientes oceánicas a gran escala con sus investigaciones sobre la Corriente del Golfo. George Hadley, abogado y aficionado inglés meteorólogo, publicó un breve artículo explicando la acción de los vientos alisios en relación con la rotación de la Tierra, mientras que Nevil Maskelyne aprovechó una idea de Newton y acampó durante varios meses en un clima terrible para medir la atracción gravitacional de una montaña escocesa. Al hacerlo, descubrió la densidad de la Tierra. James Hutton se interesó en geología después de heredar tierras de cultivo en Escocia, y se dio cuenta de que la Tierra era mucho más antigua de lo que nadie había pensado previamente.

Entendiendo la vida

A medida que los científicos se enteraron de la edad extrema de la Tierra, comenzaron a surgir nuevas ideas sobre cómo se originó y evolucionó la vida. Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon, un autor, naturalista y matemático francés más grande que la vida, dio los primeros pasos hacia una teoría de la evolución. El teólogo alemán Christian Sprengel pasó gran parte de su vida estudiando la interacción de las plantas y los insectos, y señaló que
las flores bisexuales producen flores masculinas y femeninas en diferentes momentos, por lo que no pueden fertilizarse a sí mismas. El párroco inglés Thomas Malthus centró su atención en la demografía y escribió *Un ensayo sobre el principio de la población*, prediciendo catástrofes a medida que crece la población. El pesimismo de Malthus ha demostrado ser infundado (hasta ahora), pero su idea de que una población crecerá hasta superar los recursos si no se controla, más tarde tendrá un profundo impacto.
Influencia en Charles Darwin.

A finales de siglo, el físico italiano Alessandro Volta abrió un nuevo mundo al inventar la batería eléctrica, que aceleraría los avances en las décadas siguientes. Tal había sido el progreso durante el siglo XVIII que el filósofo inglés William Whewell propuso la creación de una nueva profesión distinta a la de filósofo: “Necesitamos mucho un nombre para describir a un cultivador de la ciencia en general. Me inclinaría a llamarlo científico.



LA NATURALEZA NO PROCEDER A SALTOS Y LÍMITES

CARLO LINNEO (1707–1778)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
c.320antes de Cristo Aristóteles agrupa organismos similares en una escala de complejidad creciente.

1686 John Ray define una especie biológica en su *Historia Plantarum*.

DESPUÉS
1817 El zoólogo francés Georges Cuvier amplía la jerarquía de Linneo en su estudio de los fósiles y de los animales vivos.

1859de charles darwin*En el origen de las especies*establece cómo surgen y se relacionan las especies en su teoría de la evolución.

1866 El biólogo alemán Ernst Haeckel es pionero en el estudio de los linajes en evolución, conocido como filogenética.

1950 Willi Hennig basa un nuevo sistema de clasificación en la cladística, que busca vínculos evolutivos.

TLa clasificación del mundo natural en una clara jerarquía de grupos de organismos nombrados y descritos es una piedra angular de las ciencias biológicas. Estas agrupaciones ayudan a dar sentido a la diversidad de la vida, lo que permite a los científicos comparar e identificar millones de organismos individuales. La taxonomía moderna, la ciencia de identificar, nombrar y clasificar organismos, comenzó con el naturalista sueco Carl Linnaeus. Fue el primero en idear una jerarquía sistemática, basada en su amplio y detallado estudio de las características físicas de las plantas y los animales. También fue pionero en una forma de nombrar diferentes organismos que todavía se usa en la actualidad.

La más influyente de las primeras clasificaciones fue la del filósofo griego Aristóteles. En su *Historia de los animales*, agrupó animales similares en amplios géneros, distinguió las especies dentro de cada grupo y las clasificó en un *escala natural*o "escalera de la vida" con 11 grados de complejidad creciente en forma y propósito, desde plantas en la base hasta humanos en el ápice.

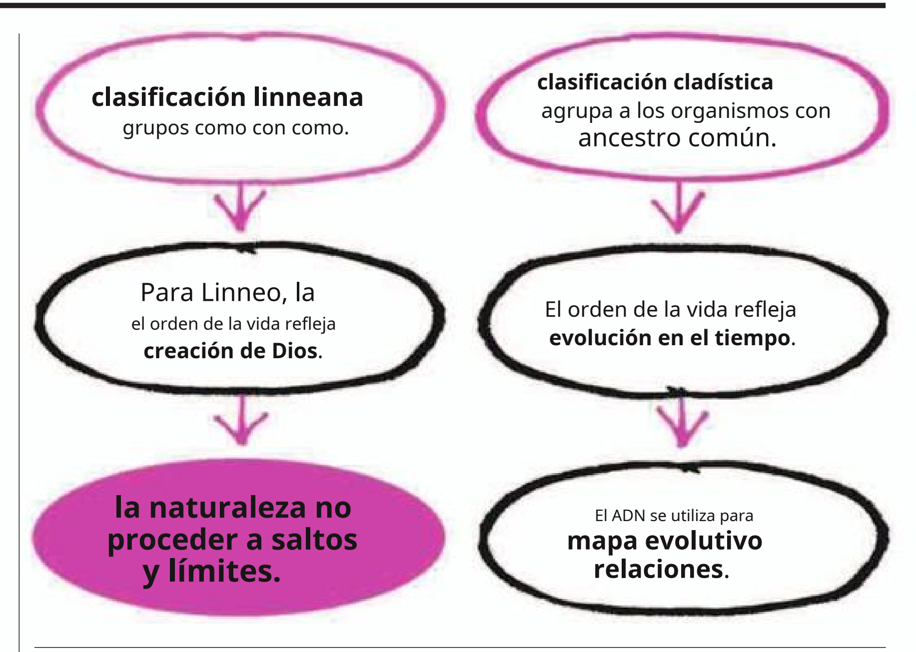
Durante los siglos siguientes, una multiplicidad caótica de nombres y descripciones de plantas y animales apareció. En el siglo XVII, los científicos se esforzaban por establecer un sistema más coherente y consistente. En 1686, el botánico inglés John Ray introdujo el concepto de especie biológica, definida por la capacidad de las plantas o los animales para reproducirse entre sí, y esta sigue siendo la definición más aceptada en la actualidad.



sistema de linneoagrupa a los organismos de acuerdo con características compartidas. Un tigre pertenece a la familia de gatos Felidae, que a su vez pertenece al orden Carnivora, en la clase Mammalia.

Ver también: Jan Swimmerdam 53 · Juan Ray 60–61 · Jean-Baptiste Lamarck 118 · Carlos Darwin 142–49

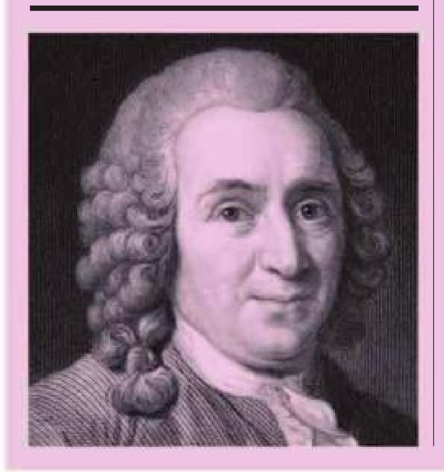
En 1735, Linnaeus produjo una clasificación en un folleto de 12 páginas que se convirtió en una 12ª edición de varios volúmenes en 1778 y desarrolló la idea del género en una jerarquía de agrupaciones basadas en características físicas compartidas. En la parte superior había tres reinos: animales, plantas y minerales. Los reinos se dividieron en filos, luego clases, órdenes, familias, géneros y especies. También estabilizó la denominación de las especies mediante el uso de un nombre latino de dos partes, con un nombre para el género y otro para una especie dentro de ese género, como en *Homo sapiens*—Linnaeus fue el primero en definir a los humanos como animales.



orden dada por Dios

Para Linneo, la clasificación reveló que "la naturaleza no avanza a pasos agigantados", sino más bien en el orden dado por Dios. Su trabajo fue fruto de numerosas expediciones por Suecia y Europa en busca de nuevas especies. Su sistema de clasificación allanó el camino para Charles Darwin, quien vio el significado evolutivo de su "jerarquía natural", con todas las especies de un género o familia relacionadas por descendencia y divergencia de un ancestro común. Un siglo después de Darwin, el biólogo alemán Willi Hennig desarrolló un nuevo enfoque de clasificación, llamado cladística. Para reflejar sus vínculos evolutivos, esto agrupa a los organismos en "clados" con una o más características únicas compartidas, que han heredado de su último ancestro común y que no se encuentran en ancestros más lejanos. El proceso de clasificación por clados continúa hasta el día de hoy, con especies reasignadas a nuevas posiciones a medida que se encuentra evidencia nueva, a menudo genética.

Carl Linneo



Nacido en 1707 en la zona rural del sur de Suecia, Carl Linnaeus estudió medicina y botánica en las universidades de Lund y Uppsala, y obtuvo una licenciatura en medicina en los Países Bajos en 1735. Ese mismo año publicó un folleto de 12 páginas llamado *Systema Naturae*, que esbozaba un sistema de clasificación de los organismos vivos. Después de más viajes por Europa, Linnaeus regresó a Suecia en 1738 para ejercer la medicina antes de ser nombrado profesor de medicina y botánica en la Universidad de Uppsala. Sus alumnos, el más famoso Daniel Solander, viajaron el mundo coleccionando plantas. Con esta vasta colección, Linneo amplió su *Systema Naturae* a través de 12 ediciones en una obra de varios volúmenes, más de 1.000 páginas, que abarca más de 6.000 especies de plantas y 4.000 animales. Cuando murió en 1778, Linnaeus era uno de los científicos más aclamados de Europa.

Trabajos clave

1753 *Especie Plantarum*
1778 *sistema natural, 12ª edición*



EL CALOR QUE DESAPARECE EN LA CONVERSIÓN DEL AGUA EN VAPOR

NO ESTÁ PERDIDO

JOSÉ NEGRO (1728–1799)

Calor en general**eleva la temperatura del agua**.

Pero cuando el agua hierve,**la temperatura deja de subir**.

calor adicionalse necesita para**convertir el líquido en vapor**.
Este calor latente le da al vapor una**terrible poder abrasador**.

El calor que desaparece en la conversión. de agua en vapor no se pierde.

EN CONTEXTO

RAMA
quimica y fisica

ANTES

1661 Robert Boyle es pionero en el aislamiento de gases.

1750 Joseph Black pesa materiales antes y después de las reacciones químicas, la primera química cuantitativa, y descubre el dióxido de carbono.

DESPUÉS

1766henry cavendish aísla el hidrógeno.

1774 Joseph Priestley aísla el oxígeno y otros gases.

1798 El físico británico nacido en Estados Unidos, Benjamin Thompson, sugiere que el calor se produce por el movimiento de las partículas.

1845 James Joule estudia la conversión del movimiento en calor y mide el equivalente mecánico del calor, afirmando que una cantidad dada de el trabajo mecánico genera la misma cantidad de calor.

A profesor de medicina en la Universidad de Glasgow y más tarde en Edimburgo, Joseph Black también dio conferencias sobre química. Aunque fue un científico investigador notable, rara vez publicó sus resultados formalmente, sino que los anunció durante sus conferencias; sus estudiantes estaban a la vanguardia de la nueva ciencia.

Algunos de los estudiantes de Black eran hijos de destiladores de whisky escocés, que estaban preocupados sobre los costos de funcionamiento de sus negocios. ¿Por qué, le preguntaron, era tan caro destilar whisky, cuando lo único que hacían era hervir el líquido y condensar el vapor?

Una idea llevada a ebullición

En 1761, Black investigó los efectos del calor en los líquidos y descubrió que si se calienta una olla con agua en una estufa, la temperatura aumenta constantemente hasta que alcanza

Ver también: Robert Boyle 46–49 José Priestley 82–83 Antonio Lavoisier 84 John Dalton 112–13 James Joule 138

212°F (100°C). Luego, el agua comienza a hervir, pero la temperatura no cambia, aunque el agua sigue recibiendo calor. Black se dio cuenta de que el calor es necesario para convertir el líquido en vapor o, en términos modernos, para dar a las moléculas suficiente energía para escapar de los enlaces que las mantienen unidas en el líquido. Este calor no cambia la temperatura y parece desaparecer, por lo que Black lo llamó calor latente (del latín "oculto"). Más precisamente, es el calor latente de evaporación del agua. Este descubrimiento fue el comienzo de la ciencia de la termodinámica: el estudio del calor, su relación con la energía y la conversión de la energía térmica en movimiento para realizar un trabajo mecánico.

El agua tiene un calor latente inusualmente alto, lo que significa que el agua líquida hervirá durante mucho tiempo antes de convertirse en gas. Esta es la razón por la cual cocinar al vapor es una forma tan efectiva de cocinar verduras, por qué el vapor tiene un terrible poder de escaldado y por qué se usa en sistemas de calefacción.

hielo derritiéndose

Así como se necesita calor para convertir el agua en vapor, también se necesita para convertir el hielo en agua. El calor latente del hielo derretido significa que el hielo enfriará una bebida. Para derretir el hielo se requiere calor, y este calor se extrae de la bebida en la que flota, enfriando así el líquido.

Black explicó todo esto a los destiladores, aunque no pudo ayudarlos a ahorrar dinero. También se lo explicó a un colega llamado James Watt, que estaba tratando de averiguar por qué las máquinas de vapor eran tan ineficientes. Posteriormente, a Watt se le ocurrió la idea del condensador separado, que condensado el vapor sin enfriar el pistón y el cilindro. Esto convirtió a la máquina de vapor en una máquina mucho más eficiente y convirtió a Watt en un hombre rico.

El negro se muestra aquívisitando al ingeniero James Watt en su taller de Glasgow. Watt está demostrando uno de sus instrumentos a vapor.





José negro

Nacido en Burdeos, Francia, Joseph Black estudió medicina en las universidades de Glasgow y Edimburgo, realizando experimentos químicos en el laboratorio de su profesor. En su tesis doctoral de 1754, Black demostró que cuando la tiza (carbonato de calcio) se calienta para convertirse en cal viva (óxido de calcio), no obtiene algún principio ardiente del fuego, como se creía comúnmente, sino que pierde peso. Black se dio cuenta de que esta pérdida debía ser un gas, ya que no se producía líquido ni sólido, y lo llamó “aire fijo” porque era un aire (gas) que se había fijado en la tiza. También mostró que el aire fijo (que ahora conocemos como dióxido de carbono) estaba entre los gases que exhalamos.

Mientras era profesor de medicina en Glasgow desde 1756, Black llevó a cabo su hito investigación sobre el calor. Aunque no publicó sus resultados, sus estudiantes hicieron circular sus hallazgos. Después de mudarse a Edimburgo en 1766, abandonó la investigación para concentrarse en dar conferencias y, como Industrial Revolution reunió asesoramiento rápido sobre innovaciones basadas en productos químicos en Escocia industria y agricultura.



INFLAMABLE AIRE

HENRY CAVENDISH (1731–1810)



EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES

1661 Robert Boyle define un elemento, sentando las bases de la química moderna.

1754 Joseph Black identifica un gas, el dióxido de carbono, al que llama "aire fijo".

DESPUÉS

1772-1775 Joseph Priestley y (independientemente) el sueco Carl Scheele aíslan el oxígeno, seguidos por Antoine Lavoisier, quien nombra el gas. Priestley también descubre el óxido nítrico, el óxido nitroso y el cloruro de hidrógeno, y experimenta con la inhalación de oxígeno y la elaboración de agua con gas.

1799 Humphry Davy sugiere que el óxido nitroso podría ser útil como anestésico en cirugía.

1844 El óxido nitroso se utilizó por primera vez para la anestesia por el dentista estadounidense Horace Wells.

En 1754, Joseph Black había descrito lo que ahora llamamos dióxido de carbono (CO_2) como "aire fijo". No solo fue el primer científico en identificar un gas, sino que también demostró que había varios tipos de "aire" o gases.

Doce años más tarde, un científico inglés llamado Henry Cavendish informó a la Royal Society de Londres que los metales zinc, hierro y estaño "generan aire inflamable al disolverse en ácidos". Llamó a su nuevo gas "aire inflamable" porque se quemaba fácilmente, a diferencia del "aire fijo" o ordinario. Hoy lo llamamos hidrógeno (H_2). Este fue el segundo gas que se identificó y el primer elemento gaseoso que se aisló.

Cavendish se dispuso a medir el peso de una muestra del gas, midiendo la pérdida de peso de la mezcla de zinc y ácido durante la reacción, y recogiendo todo el gas producido en una vejiga y pesándolo, primero lleno de gas, luego vacío. Conociendo el volumen, pudo calcular su densidad. Encontró que el aire inflamable era 11 veces menos denso que el aire ordinario.

El descubrimiento del gas de baja densidad dio lugar a globos aeronáuticos que eran más ligeros que el aire. En Francia, en 1783, el inventor Jacques Charles lanzó el primer globo de hidrógeno, menos de dos semanas después de que los hermanos Montgolfier lanzaran su primer globo aerostático tripulado.

Ver también: Empédocles 21 · Roberto Boyle 46–49 · José negro 76–77 · José Priestley 82–83 · Antonio Lavoisier 84 · Humphry Davy 114



De estos experimentos se desprende que este aire, al igual que otras sustancias inflamables, no puede arder sin la ayuda de aire común.
henry cavendish



descubrimientos explosivos
Cavendish también mezcló muestras medidas de su gas con volúmenes conocidos de aire en botellas y encendió las mezclas quitando las tapas y aplicando trozos de papel encendidos. Encontró que con nueve partes de aire por una de hidrógeno había una llama lenta y silenciosa; con proporciones crecientes de hidrógeno, la mezcla explotó con ferocidad creciente; pero el hidrógeno puro al 100 por ciento no se encendió.

El pensamiento de Cavendish todavía estaba obstaculizado por una noción obsoleta de la alquimia de que un elemento parecido al fuego ("flogisto") se liberaba durante la combustión. Sin embargo, fue preciso en sus experimentos y en sus informes: "parece que 423 medidas de aire inflamable son casi suficientes para flogistizar 1000 de aire común; y que la mayor parte del aire que queda después de la explosión es entonces muy poco más de las cuatro quintas partes del aire común empleado. Podemos concluir que...casi todo el aire inflamable y alrededor de una quinta parte del aire común... se condensan en el rocío que recubre el vidrio".

Definición de agua
Aunque Cavendish usó el término "flogisticado", logró demostrar que el único material nuevo producido era agua y dedujo que dos volúmenes de aire inflamable se habían combinado con un volumen de oxígeno. En otras palabras, demostró que la composición del agua es H_2O. Aunque informó de sus hallazgos

Para Joseph Priestley, Cavendish era tan reacio a publicar los resultados que su amigo, el ingeniero escocés James Watt, fue el primero en anunciar la fórmula, en 1783.

Entre sus muchas contribuciones a la ciencia, Cavendish pasó a calcular la composición del aire como "una parte de aire [oxígeno] desflogistizado, mezclada con cuatro de [nitrógeno] flogistizado": los dos gases que ahora sabemos constituyen el 99 por ciento de la atmósfera terrestre.



El primer globo de hidrógeno, inspirado en Cavendish, fue vitoreado por una gran multitud de espectadores. Como el hidrógeno es tan explosivo, los globos modernos usan helio.

henry cavendish



Uno de los pioneros más extraños y brillantes de la química y la física del siglo XVIII, Henry Cavendish nació en 1731 en Niza, Francia. Sus abuelos eran duques y él era inmensamente rico. Tras sus estudios en la Universidad de Cambridge, vivía y trabajaba solo en su casa de Londres. Hombre de pocas palabras y tímido con las mujeres, se decía que ordenaba sus comidas dejando notas para sus sirvientes.

Cavendish asistió a las reuniones de la Royal Society durante unos 40 años y también ayudó a Humphry Davy en la Royal Institution. Él realizó importantes investigaciones originales sobre química y electricidad, describió con precisión la naturaleza del calor y midió la densidad de la Tierra o, como decía la gente, "pesó el mundo". Murió en 1810. En 1874, la Universidad de Cambridge nombró su nuevo laboratorio de física en su honor.

Trabajos clave

1766 *Tres artículos que contienen experimentos sobre aire ficticio*
1784 *Experimentos en el aire* (*Transacciones filosóficas de la Royal Society de Londres*)



LOS VIENTOS, A MEDIDA QUE SE ACERCAN AL ECUADOR, HACERSE MAS DEL ESTE

JORGE HADLEY (1685-1768)

EN CONTEXTO

RAMA
Meteorología

ANTES

1616 Galileo Galilei apunta a los vientos alisios como evidencia de la rotación de la Tierra.

1686 Edmond Halley propone que el Sol que viaja hacia el oeste a través del cielo hace que el aire se eleve y sea reemplazado por vientos del este.

DESPUÉS

1793 John Dalton publica *Observaciones meteorológicas y ensayos*, que apoya la teoría de Hadley.

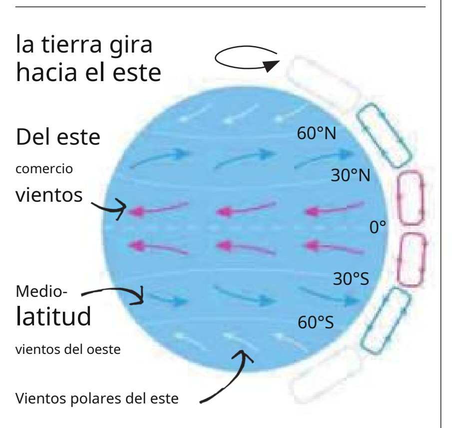
1835 De Coriolis se basa en las ideas de Hadley y describe una "fuerza centrífuga compuesta" que desvía el viento.

1856 El meteorólogo estadounidense William Ferrel identifica una celda de circulación en las latitudes medias (30–60°) donde el aire arrastrado hacia un centro de baja presión crea los vientos predominantes del oeste.

By 1700, se sabía que los vientos superficiales persistentes, o “vientos alisios”, soplan en dirección noreste entre una latitud de 30°N y el ecuador a 0°. Galileo había sugerido que la rotación de la Tierra hacia el este hizo que "se adelantara" al aire en los trópicos, por lo que los vientos vienen del este. Más tarde, el astrónomo inglés Edmond Halley se dio cuenta de que el calor del Sol, en su punto máximo sobre el ecuador, hace que el aire se eleve, y ese aire ascendente es reemplazado por vientos que soplan desde latitudes más altas.

En 1735, el físico inglés George Hadley publicó su teoría sobre los vientos alisios. Estuvo de acuerdo en que el Sol hace que el aire se eleve, pero el aire ascendente cerca del ecuador solo causaría que los vientos fluyan hacia él desde el norte y el sur, no desde el este. A medida que el aire gira con la Tierra, el aire que se mueve desde 30° N hacia el ecuador tendría su propio impulso hacia el este. Sin embargo, la superficie de la Tierra se mueve más rápido en el ecuador que en latitudes más altas, por lo que la velocidad de la superficie se vuelve mayor que la velocidad del aire y los vientos parecen provenir de una dirección cada vez más hacia el este a medida que se acercan al ecuador.

La idea de Hadley fue un paso en el camino hacia la comprensión de los patrones del viento, pero contenía errores. La clave para la desviación de la dirección del viento es, de hecho, que se conserva el momento angular del viento (lo que hace que gire), no su momento lineal (en línea recta).



Patrones de vientoson el resultado de la rotación de la Tierra combinada con "células" de circulación a medida que el aire caliente sube, se enfría y cae en las células polares (en gris), las células de Ferrel (azul) y las células de Hadley (rosa).

Ver también: Galileo Galilei 42–43 · Juan Dalton 112–13 · Gaspard-Gustave de Coriolis 126 · Roberto FitzRoy 150–55



UNA FUERTE CORRIENTE SALE DEL GOLFO DE FLORIDA

BENJAMIN FRANKLIN (1706-1790)

EN CONTEXTO

RAMA
Oceanografía

ANTES
c.2000antes de Cristopolinesio la gente de mar utiliza las corrientes oceánicas para cruzar entre las islas del Pacífico.

1513 Juan Ponce de León es el primero en describir las fuertes corrientes de la Corriente del Golfo del Océano Atlántico.

DESPUÉS
1847 El oficial naval estadounidense Matthew Maury publica su gráfico de vientos y corrientes, compilado mediante el estudio de registros y gráficos de barcos en archivos navales.

1881 El Príncipe Alberto I de Mónaco se da cuenta de que la Corriente del Golfo es un giro (bucle) y se divide en dos: una rama fluye hacia el norte hacia las Islas Británicas y la otra hacia el sur hacia España y África.

1942noruego oceanógrafo harald Sverdrup desarrolla una teoría de la circulación oceánica general.

Ta corriente cálida de la Corriente del Golfo que fluye hacia el este a través del Océano Atlántico Norte es uno de los mayores movimientos de agua en la Tierra. Es impulsado hacia el este por los vientos predominantes del oeste y es parte de un gran bucle que luego vuelve a cruzar el Atlántico hacia el Caribe. La corriente se conocía desde 1513, cuando el explorador español Juan Ponce de León descubrió que su barco regresaba al norte de Florida a pesar de que los vientos lo empujaban hacia el sur. Pero solo se cartografió correctamente en 1770, por el estadista y científico estadounidense Benjamin Franklin.

Ventaja local

Como subjefe de correos de las colonias británicas estadounidenses, a Franklin le fascinaba saber por qué los barcos de paquetería británicos tardaban dos semanas más en cruzar el Atlántico que los barcos mercantes estadounidenses para entregar el correo. Ya famoso por su invención del pararrayos, le preguntó al capitán de caza de ballenas de Nantucket, Timothy Folger, por qué podría ser así. Folger explicó que los capitanes estadounidenses conocían la corriente oeste-este. Ellos



gráfico de franklinse publicó en 1770 en Gran Bretaña, pero pasarían años antes de que los capitanes británicos aprendieran a utilizar la Corriente del Golfo para reducir los tiempos de navegación.

Pudo detectarlo por las migraciones de ballenas, las diferencias de temperatura y color, y la velocidad de las burbujas superficiales, por lo que cruzaron la corriente para escapar de ella, mientras que los barcos de carga británicos que se dirigían al oeste lucharon contra ella todo el camino.

Con la ayuda de Folger, Franklin trazó el curso de la corriente a medida que fluía a lo largo de la costa este de América del Norte desde el Golfo de México hasta Terranova y luego fluía hacia el este a través del Atlántico. También le dio su nombre a la Corriente del Golfo.

Ver también: George Hadley 80 · Gaspard-Gustave de Coriolis 126 · Robert Fitz Roy 150–55



DESFLOGISTICADO AIRE

JOSÉ PRIESTLEY (1733–1804)

EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES
1754 Joseph Black aísla el primer gas, el dióxido de carbono.

1766henry cavendish prepara hidrógeno.

1772 Carl Scheele aísla un tercer gas, el oxígeno, dos años antes que Priestley, pero no publica sus hallazgos hasta 1777.

DESPUÉS
1774 En París, Priestley demuestra su método a Antoine Lavoisier, quien fabrica el nuevo gas y publica sus resultados en mayo de 1775.

1779 Lavoisier le da al gas el nombre "*oxígeno*."

1783 Schweppes Company de Ginebra comienza a fabricar el agua de soda que inventó Priestley.

1877 El químico suizo Raoul Pictet produce oxígeno líquido, que se utilizará en combustible para cohetes, industria y medicina.

Fespués del descubrimiento pionero de Joseph Black del "aire fijo" o dióxido de carbono (CO_2), un clérigo inglés llamado Joseph Priestley se interesó en investigar varios otros "aires" o gases, e identificó varios más, sobre todo oxígeno.

Mientras era ministro en Leeds, Priestley visitó la cervecería cercana a su alojamiento. Ya se sabía que la capa de aire sobre la tina de elaboración era aire fijo. Encontró que cuando bajaba una vela sobre el cuba, la vela se apagó a unos 30 cm (12 pulgadas) por encima de la espuma, donde la llama entró en la capa de aire fijo que flotaba allí. El humo se desplazó por la parte superior del aire fijo, haciéndolo visible y revelando el límite entre los dos aires. También notó que el aire fijo fluía por el costado de la tina y se hundía en el piso, porque era más denso que el aire "ordinario". Cuando Priestley experimentó con disolviendo el aire fijo en agua fría, moviéndolo de un recipiente a otro



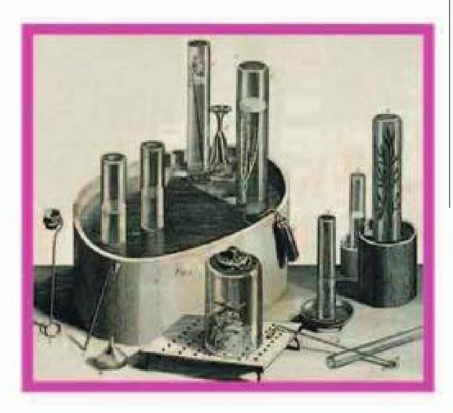
Ver también: Joseph Black 76–77 · Enrique Cavendish 78–79 · Antoine Lavoisier 84 · Juan Dalton 112–13 Humphry Davy 114

otro, descubrió que hacía una bebida gaseosa refrescante, que más tarde condujo a la locura por el agua con gas.

liberando oxigeno

El 1 de agosto de 1774, Priestley aisló por primera vez su nuevo gas, que ahora conocemos como oxígeno (O_2)—de óxido de mercurio en un matraz de vidrio sellado calentándolo con luz solar y una lupa. Más tarde descubrió que este nuevo gas mantenía vivos a los ratones mucho más tiempo que el aire común, era agradable de respirar y más energizante que el aire común, y apoyaba la combustión de varias sustancias que quemaba como combustible. También mostró que las plantas producen el gas a la luz del sol, un primer indicio del proceso que llamamos fotosíntesis. En ese momento, sin embargo, se pensaba que la combustión implicaba la liberación de un combustible de un material misterioso llamado flogisto. Debido a que este nuevo gas no se quemó y, por lo tanto, no debe contener flogisto, lo llamó "aire desflogistizado".

Priestley aisló varios otros gases aproximadamente en este momento, pero luego realizó una gira europea y no publicó sus resultados hasta finales del año siguiente. El químico sueco Carl Scheele había preparado oxígeno dos años antes que Priestley, pero no lo hizo.





El más notable de todos los tipos de aire que he producido... es uno que es cinco o seis veces mejor que el aire común, con el propósito de de respiración

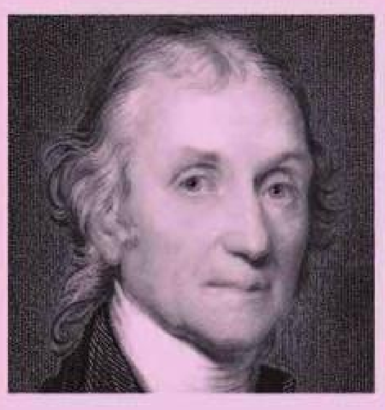
joseph priestley



no publicó sus resultados hasta 1777. Mientras tanto, en París, Antoine Lavoisier se enteró del trabajo de Scheele, Priestley le hizo una demostración y rápidamente hizo su propio oxígeno. Sus experimentos sobre combustión y respiración demostraron que la combustión es un proceso de combinación con oxígeno, no de liberación de flogisto. En la respiración, el oxígeno absorbido del aire reacciona con la glucosa y libera dióxido de carbono, agua y energía. Llamó al nuevo gas *oxígeno*, o "fabricante de ácidos", cuando descubrió que reacciona con algunos materiales como el azufre, el fósforo y el nitrógeno para producir ácidos.

Esto llevó a muchos científicos a abandonar el flogisto, pero Priestley, aunque era un gran experimentador, se aferró a la vieja teoría para explicar sus descubrimientos y no hizo más contribuciones a la química.

aparato de Priestleypor sus experimentos con gases aparecen en su libro sobre sus descubrimientos. Al frente, un ratón se mantiene en oxígeno debajo de un frasco; a la derecha, una planta libera oxígeno en un tubo.



joseph priestley

Nacido en una granja en Yorkshire, Joseph Priestley se crió como un cristiano disidente y fue intensamente religioso y político durante toda su vida.

Priestley se convirtió interesado en los gases mientras vivía en Leeds a principios de la década de 1770, pero su mejor trabajo se realizó después de mudarse a Wiltshire como bibliotecario del conde de Shelburne. Sus funciones eran ligeras y le dejaban tiempo para realizar investigaciones. Más tarde se peleó con el conde (sus puntos de vista políticos pueden haber sido demasiado radicales) y en 1780 se mudó a Birmingham. Aquí se unió a la Lunar Society, un grupo informal pero influyente de librepensadores, ingenieros e industriales.

El apoyo de Priestley a la Revolución Francesa lo hizo impopular. En 1791, su casa y su laboratorio fueron incendiados, lo que lo obligó a mudarse a Londres y luego a América. Se instaló en Pensilvania y murió allí en 1804.

Trabajos clave

1767 *Historia y estado actual de la electricidad*
1774-1777 *Experimentos y observaciones sobre diferentes tipos de aire*



EN LA NATURALEZA NADA SE CREA, NADA SE PIERDE, TODO CAMBIA

ANTOINE LAVOISIER (1743-1794)

EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES
1667alquimista alemán Johann Joachim Becher propone que las cosas están hechas para arder por un elemento fuego.

1703 El químico alemán Georg Stahl lo renombra como flogisto.

1772químico sueco Carl-Wilhelm Scheele descubre el “aire de fuego” (luego llamado oxígeno) pero no publica su hallazgos hasta 1777.

1774 Joseph Priestley aísla el “aire desflogistizado” (luego llamado oxígeno) y cuenta Lavoisier sobre sus hallazgos.

DESPUÉS
1783 Lavoisier confirma sus ideas sobre la combustión con experimentos sobre hidrógeno, oxígeno y agua.

1789de Lavoisier *Tratado elemental de química*Nombra 33 elementos.

F químico francés Antoine Lavoisier aportó un nuevo nivel de precisión a la ciencia, sobre todo al nombrar el oxígeno y cuantificar su papel en la combustión. Al tomar medidas cuidadosas de la masa en las reacciones químicas que ocurren durante la combustión, demostró la conservación de la masa, el principio de que, en una reacción, la masa total de todas las sustancias que participan es la misma que la masa total de todos sus productos. .

Lavoisier calentó varias sustancias en recipientes sellados y descubrió que la masa que ganaba un metal cuando se calentaba era exactamente igual a la masa de aire que se perdía. También descubrió que la quema se detenía cuando la parte "pura" del aire (oxígeno) se había ido. El aire que quedó (principalmente nitrógeno) no apoyó la combustión. Se dio cuenta de que, por lo tanto, la combustión implicaba una combinación de calor, combustible (el material que se quema) y oxígeno.

Publicados en 1778, los resultados de Lavoisier no solo demostraron la conservación de la masa, sino también, al identificar el papel del oxígeno en combustión, demolió la teoría de un elemento fuego llamado flogisto. Durante el siglo pasado, los científicos habían pensado que las sustancias inflamables contenían flogisto y lo liberaban cuando se quemaban. La teoría explicaba por qué sustancias como la madera perdían masa al arder, pero no por qué otras, como el magnesio, ganaban masa al arder. Las cuidadosas mediciones de Lavoisier demostraron que el oxígeno era la clave, en un proceso durante el cual nada se añadía ni se perdía, sino que todo se transformaba.



Considero la naturaleza un vasto laboratorio químico en el que se forman todo tipo de composiciones y descomposiciones.

Antonio Lavoisier



Ver también: Joseph Black 76–77 · Enrique Cavendish 78–79 · Joseph Priestley 82–83 · Enero Ingenhousz 85 Juan Dalton 112–13



LA MASA DE UN LLEGA LA PLANTA DESDE EL AIRE

JAN INGENHOUSZ (1730-1799)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
1640 El químico flamenco Jan Baptista van Helmont deduce que un árbol en maceta gana peso al absorber agua del suelo.

1699 El naturalista inglés John Woodward muestra que las plantas absorben y expulsan agua, por lo que su crecimiento necesita otra fuente de materia.

1754 El naturalista suizo Charles Bonnet se da cuenta de que las hojas de las plantas producen burbujas de aire bajo el agua cuando se iluminan.

DESPUÉS
1796 El botánico suizo Jean Sénébier demuestra que son las partes verdes de las plantas las que liberan oxígeno y absorben dióxido de carbono.

1882científico alemán Théodore Engelman señala los cloroplastos como las partes que producen oxígeno en las células vegetales.

In la década de 1770, el científico holandés Jan Ingenhousz se dispuso a descubrir por qué las plantas, como habían notado los científicos anteriores, engordaban. Fue a Inglaterra e hizo su investigación en Bowood House —donde Joseph Priestley descubrió el oxígeno en 1774 — y estuvo a punto de encontrar las claves de la fotosíntesis: la luz solar y el oxígeno.

malas hierbas burbujeantes

Ingenhousz había leído cómo las plantas en el agua producen burbujas de gas, pero la composición y el origen precisos de las burbujas no estaban claros. En una serie de experimentos, vio que las hojas iluminadas por el sol despedían más burbujas que las hojas en la oscuridad. Recolectó el gas producido solo con la luz del sol y descubrió que volvía a encender una férula brillante: era oxígeno. El gas despedido por las plantas en la oscuridad apagó una llama: era dióxido de carbono.

Ingenhousz sabía que las plantas aumentaban de peso con pocos cambios en el peso del suelo del que crecían. En 1779, razonó correctamente que el intercambio de gases con la atmósfera, especialmente la absorción del gas



Burbujas de hierba de estanquepor la noche muestra la respiración a medida que las plantas convierten la glucosa en energía, absorbiendo oxígeno y liberando dióxido de carbono.

dióxido de carbono, era al menos en parte la fuente del aumento de materia orgánica de una planta, es decir, su masa adicional procedía del aire.

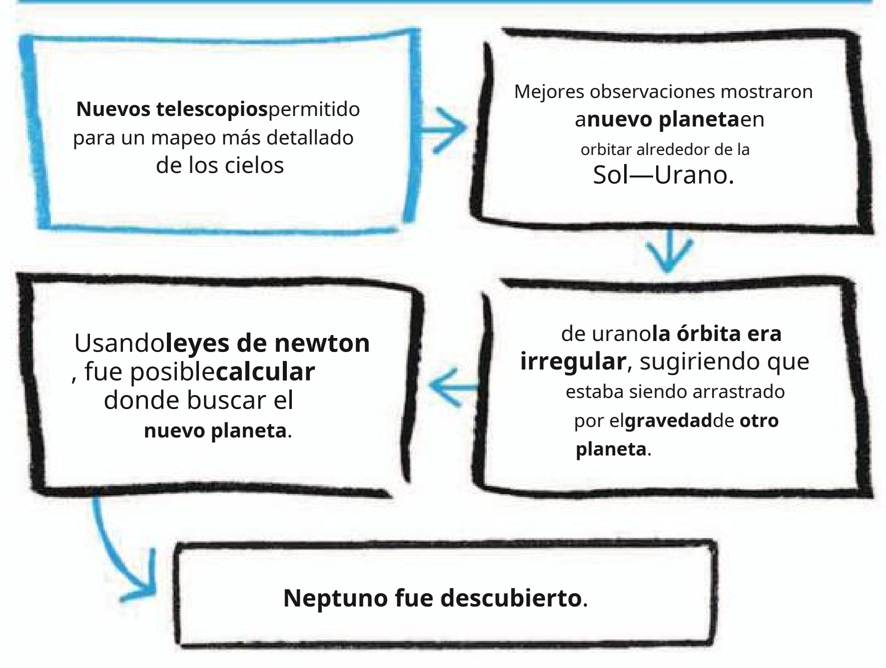
Como sabemos ahora, las plantas fabrican su alimento mediante la fotosíntesis, convirtiendo la energía de la luz solar en glucosa al hacer reaccionar el agua y el dióxido de carbono que absorben las plantas y liberar oxígeno como desecho. Como resultado, las plantas suministran el oxígeno que es vital para la vida y, como alimento para los demás, la energía. En un proceso inverso llamado respiración, las plantas usan la glucosa como alimento y liberan dióxido de carbono, día y noche.

Ver también: José negro 76–77 Enrique Cavendish 78–79
José Priestley 82–83José Fourier 122–23



DESCUBRIENDO NUEVOS PLANETAS

GUILLERMO HERSCHEL (1738–1822)



EN CONTEXTO

RAMA
Astronomía

ANTES

Principios de 1600 El telescopio refractor basado en lentes es inventaron, pero los telescopios basados en espejos no se desarrollaron hasta la década de 1660, por Isaac Newton y otros.

1774observador francés Charles Messier publica su estudio astronómico, lo que inspira a Herschel a comenzar a trabajar en su propio estudio.

DESPUÉS

1846 Cambios inexplicables en la órbita de Urano llevan al matemático francés Urbain Le Verrier a predecir la existencia y posición de un octavo planeta—Neptuno.

1930 El astrónomo estadounidense Clyde Tombaugh descubre Plutón, inicialmente reconocido como un noveno planeta, pero ahora visto como el miembro más brillante del Cinturón de Kuiper de pequeños mundos helados.

In 1781, el científico alemán William Herschel identificó el primer planeta nuevo visto desde la antigüedad, aunque el propio Herschel inicialmente pensó que se trataba de un cometa. Su descubrimiento también conduciría al descubrimiento de otro planeta como resultado de predicciones basadas en las leyes de Newton.

A fines del siglo XVIII, los instrumentos astronómicos habían avanzado significativamente, sobre todo a través de la construcción de telescopios reflectores que usaban espejos en lugar de lentes para recoger la luz, evitando muchos de los problemas asociados con las lentes en ese momento. Esta fue la era de los primeros grandes estudios astronómicos, cuando los astrónomos rastrearon el cielo e identificaron una amplia variedad de "no estelares".
objetos: cúmulos de estrellas y nebulosas que parecían nubes amorfas de gas o densas bolas de luz.

Ver también: Viejo Romer 58–59 · Isaac Newton 62–69·Nevil Maskelyne 102–03 · Geoffrey Marcy 327



en la década de 1780, Herschel construyó su telescopio de "40 pies" con un espejo primario de 47 pulgadas (1,2 m) de ancho y una distancia focal de 40 pies (12 m). Siguió siendo el telescopio más grande del mundo durante 50 años.

Con la ayuda de su hermana Caroline, Herschel descuartizó sistemáticamente el cielo, registrando curiosidades como el número inesperadamente grande de estrellas dobles y múltiples. Incluso intentó compilar un mapa de la Vía Láctea basado en la cantidad de estrellas que contó en diferentes direcciones.

El 13 de marzo de 1781, Herschel estaba escaneando la constelación de Géminis cuando vio una débil disco verde que sospechó que podría ser un cometa. Regresó a él unas noches más tarde y descubrió que se había movido, lo que confirmó que no era una estrella. Al mirar el descubrimiento de Herschel, Nevil Maskelyne se dio cuenta de que el nuevo objeto se movía demasiado lento para ser un cometa y, de hecho, podría ser un planeta en una órbita distante. El sueco-ruso Anders Johan Lexell y el alemán Johann Elert Bode calcularon de forma independiente la órbita del descubrimiento de Herschel, confirmando que efectivamente era un planeta, aproximadamente el doble de lejos que Saturno. Bode sugirió nombrarlo en honor al padre mitológico de Saturno, el antiguo dios griego del cielo, Urano.

Órbita irregular

En 1821, el astrónomo francés Alexis Bouvard publicó una tabla detallada que describe la órbita de Urano como debería ser según las leyes de Newton. Sin embargo, sus observaciones del planeta pronto mostraron discrepancias sustanciales con las predicciones de su tabla. Las irregularidades de su órbita sugerían una atracción gravitacional de un octavo planeta más distante.

En 1845, dos astrónomos, el francés Urbaine Le Verrier y el británico John Couch Adams, estaban utilizando de forma independiente los datos de Bouvard para calcular en qué parte del cielo buscar el octavo planeta. Los telescopios fueron apuntados en el área predicha, y el 23 de septiembre de 1846,
Neptuno fue descubierto a solo un grado de donde Le Verrier había predicho que estaría. Su existencia confirmó la teoría de Bouvard y proporcionó una poderosa evidencia de la universalidad de las leyes de Newton.

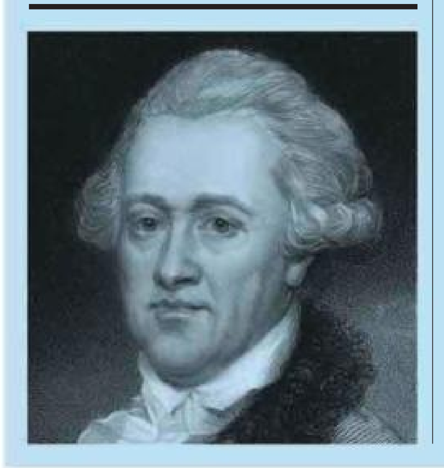


Busqué el Cometa o Estrella Nebulosa y encontré que es un cometa, porque ha cambiado de lugar.

Guillermo Herschel



Guillermo Herschel



Nacido en Hannover, Alemania, Frederick William Herschel emigró a Gran Bretaña a los 19 años para hacer carrera en la música. Sus estudios de armónicos y matemáticas lo llevaron a interesarse por la óptica y la astronomía, y se dispuso a fabricar sus propios telescopios.

Después de su descubrimiento de Urano, Herschel descubrió dos nuevas lunas de Saturno y las dos lunas más grandes de Urano. También demostró que el sistema solar está en movimiento en relación con el resto de la galaxia. Mientras estudiaba el Sol en 1800, Herschel descubrió una nueva forma de radiación. Él realizó un experimento utilizando un prisma y un termómetro para medir las temperaturas de los diferentes colores de la luz solar y descubrió que la temperatura seguía aumentando en la región más allá de la luz roja visible. Concluyó que el Sol emitía una forma invisible de luz, a la que denominó “rayos caloríficos” y que hoy llamamos infrarrojos.

Trabajos clave

1781 *Cuenta de un cometa* **1786** *Catálogo de 1.000 Nuevas Nebulosas y Cúmulos de Estrellas*



LA DISMINUCIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA LUZ

JUAN MICHELL (1724-1793)

EN CONTEXTO

RAMA
Cosmología

ANTES
1686 Isaac Newton formula su ley de gravitación universal, en la que la fuerza de la atracción gravitatoria entre los objetos es proporcional a sus masas.

DESPUÉS
1796 Pierre-Simon Laplace teoriza de forma independiente sobre la posibilidad de agujeros negros.

1915 Albert Einstein muestra que la gravedad es una deformación del continuo espacio-tiempo, razón por la cual los fotones de luz sin masa se ven afectados por la gravedad.

1916 Karl Schwarzschild propone el horizonte de sucesos, más allá del cual no se pueden recibir datos sobre un agujero negro.

1974 Stephen Hawking predice que los efectos cuánticos en el horizonte de sucesos emitirán radiación infrarroja.



En una carta de 1783 a Henry Cavendish en la Royal Society, el erudito británico John Michell expuso sus pensamientos sobre el efecto de la gravedad. La carta fue redescubierta en la década de 1970 y se descubrió que contenía una descripción notable de los agujeros negros. La ley de la gravedad de Newton establece que la atracción gravitatoria de un objeto aumenta con su masa. Michell consideró lo que le podría pasar a la luz si se ve afectada por la gravedad. Escribió: "Si el semidiámetro de una esfera de la misma densidad que el sol fuera a exceder al sol en la proporción de 500 a 1, un cuerpo que cayera desde una altura infinita hacia él habría adquirido en su superficie una velocidad mayor que la de la luz, y en consecuencia, suponiendo que la luz fuera atraída por la misma fuerza... toda la luz emitida por tal cuerpo sería ser obligado a volver hacia ella." En 1796, el matemático francés Pierre-Simon Laplace tuvo una idea similar en su *Exposición del Sistema del Mundo*.

Sin embargo, la idea de un agujero negro permanecería latente hasta el artículo de 1915 de Albert Einstein sobre general

Ver también: Henry Cavendish 78–79 · Isaac Newton 62–69 · Albert Einstein 214–21 · Subrahmanyan Chandrasekhar 248 · Stephen Hawking 314



remolinos de materia alrededor de un agujero negro en un "disco de acreción" en forma de rosquilla antes de ser succionado. El calor en el disco giratorio hace que el agujero emita energía, como haces estrechos de rayos X.

relatividad, que describía la gravedad como resultado de la curvatura del espacio-tiempo. Einstein mostró cómo la materia puede envolver el espacio-tiempo alrededor de sí misma, creando un agujero negro dentro de una región llamada el radio de Schwarzschild u horizonte de eventos. La materia, y también la luz, pueden entrar, pero no pueden salir. En esta imagen, la velocidad de la luz no cambia. Más bien, es el espacio por el que viaja la luz el que cambia, pero la intuición de Michell ahora tenía un mecanismo por el cual la velocidad de la luz al menos parecería disminuir.

De la teoría a la realidad

El propio Einstein dudaba de que los agujeros negros existieran en la realidad. No fue hasta la década de 1960 que comenzaron a adquirir una aceptación general a medida que aumentaba la evidencia indirecta de su existencia. Hoy en día, la mayoría de los cosmólogos piensan que los agujeros negros se forman cuando las estrellas masivas colapsan bajo su propia gravedad y crecen a medida que asimilan cada vez más materia, y que un agujero negro gigante acecha en el centro de cada galaxia. Los agujeros negros atraen la materia, pero nada escapa, aparte de la débil radiación infrarroja, conocida como radiación de Hawking en honor a Stephen Hawking, el físico que la propuso. Un astronauta que cae en un agujero negro no sentiría nada ni notaría nada.



Los agujeros negros no son tan negros.

Stephen Hawking



inusual en el acercamiento al horizonte de eventos, pero si él o ella dejara caer un reloj hacia el agujero negro, el reloj parecería ralentizarse y acercarse, pero nunca alcanzaría el horizonte de eventos, desapareciendo gradualmente de la vista.

Sin embargo, todavía existen problemas con la teoría. En 2012, el físico Joseph Polchinski sugirió que los efectos a escala cuántica crearían un "cortafuegos" en el horizonte de eventos que quemaría a cualquier astronauta que cayera a través de él. En 2014, Hawking cambió de opinión y concluyó que, después de todo, los agujeros negros no pueden existir.

juan michel

John Michell era un verdadero erudito. Se convirtió en profesor de geología en la Universidad de Cambridge en 1760, pero también enseñó aritmética, geometría, teología, filosofía, hebreo y griego. En 1767, se retiró para convertirse en clérigo y se centró en su ciencia.

Michell especuló sobre las propiedades de las estrellas, investigó los terremotos y el magnetismo e inventó un nuevo método para medir la densidad de la Tierra. Construyó el aparato para “pesando el mundo”—un delicado equilibrio de torsión, pero murió en 1793 antes de que pudiera usarlo. Se lo dejó a su amigo Henry Cavendish, quien realizó el experimento en 1798 y obtuvo un valor cercano a la cifra actualmente aceptada.
Desde entonces, esto se ha conocido injustamente como “el experimento Cavendish”.

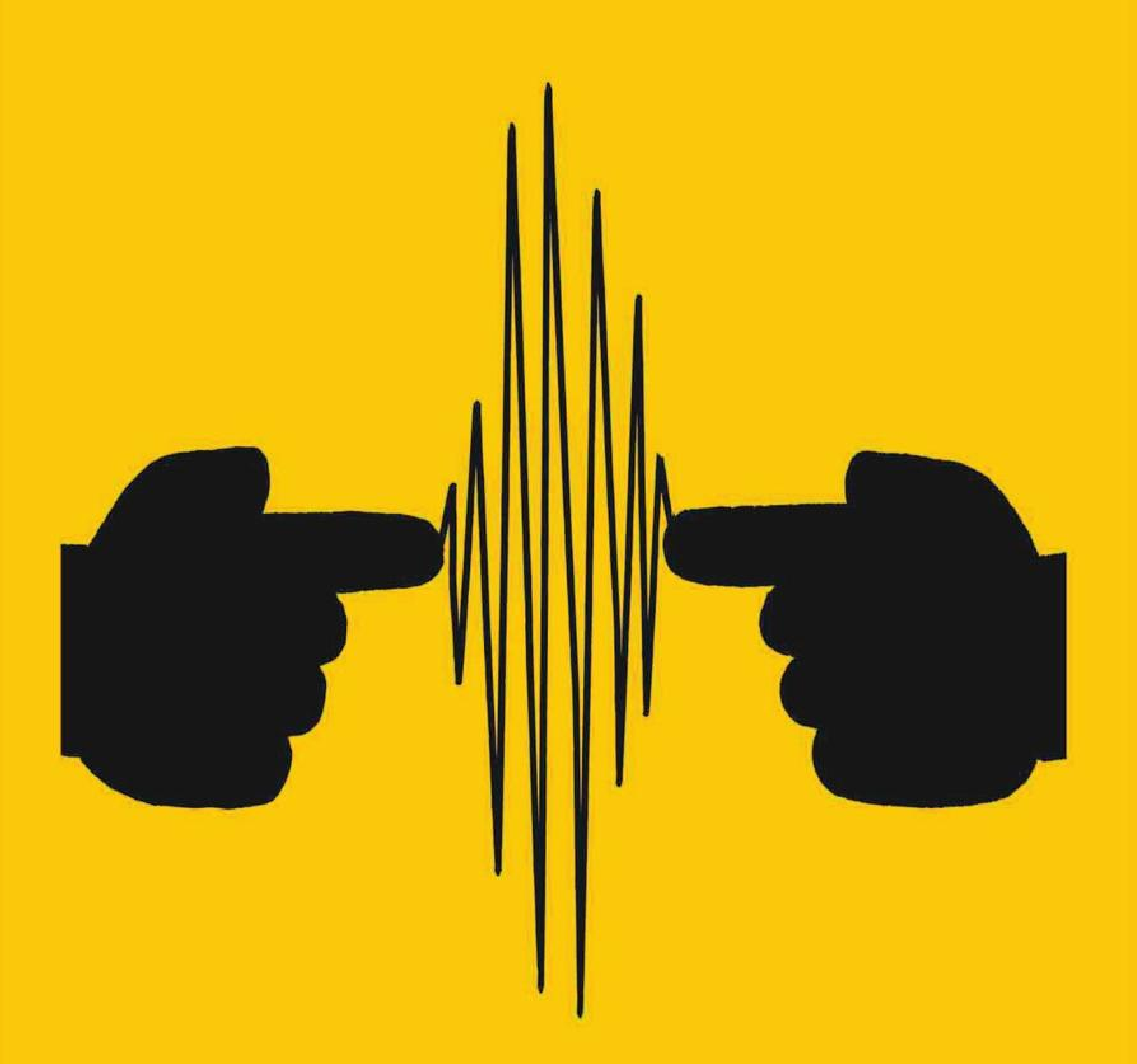
Obra clave

1767 *Una investigación sobre el paralaje probable y Magnitud de las estrellas fijas*

CONFIGURAR EL ELÉCTRICO

FLUIDO EN MOVIMIENTO

ALEJANDRO VOLTA (1745–1827)



EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1754 Benjamin Franklin demuestra que el rayo es electricidad natural con su famoso experimento de la cometa.

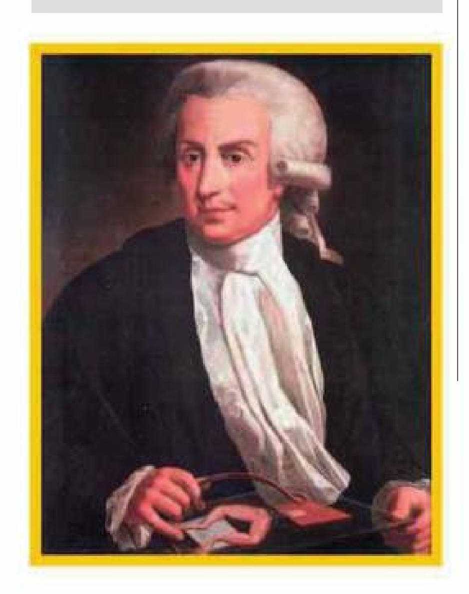
1767joseph priestley publica una descripción completa de la electricidad estática.

1780 Luigi Galvani realiza sus experimentos de ancas de rana con “electricidad animal”.

DESPUÉS
1800 Los químicos ingleses William Nicholson y Anthony Carlisle utilizan una pila voltaica para dividir el agua en sus dos elementos, oxígeno e hidrógeno.

1807 Humphry Davy aísla los elementos potasio y sodio usando electricidad.

1820 Hans Christian Ørsted revela el vínculo entre el magnetismo y la electricidad.

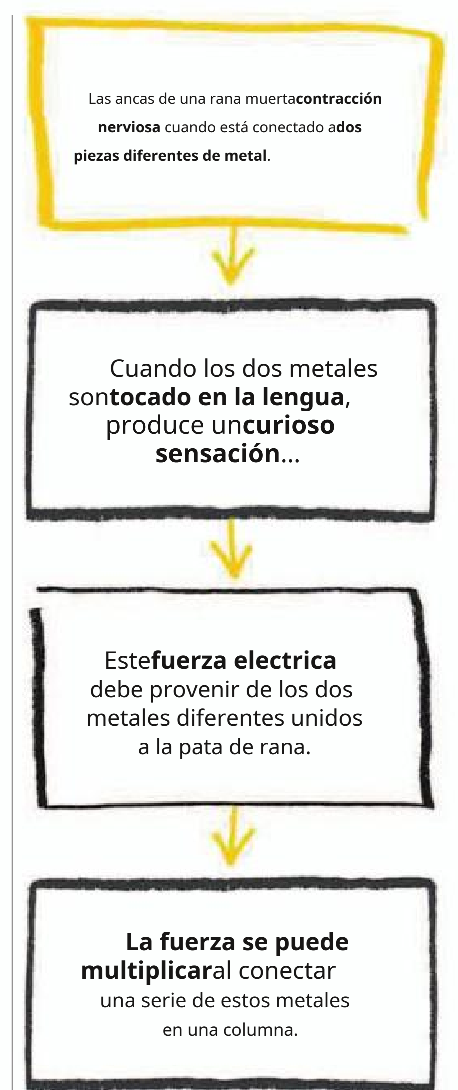


Durante siglos, los filósofos se habían preguntado por la poder aterrador de relámpagos, y también en la forma en que se pueden extraer chispas de sólidos como el ámbar cuando se frota con un paño de seda. La palabra griega para ámbar era "electrón", y el fenómeno de las chispas se conoció como electricidad estática.

En un experimento de 1754, Benjamin Franklin voló una cometa hacia una tormenta eléctrica y demostró que estos dos fenómenos estaban estrechamente relacionados. Cuando vio chispas que salían de una llave de latón atada a la cuerda de la cometa, demostró que las nubes estaban electrificadas y que los rayos también son una forma de electricidad. El trabajo de Franklin inspiró a Joseph Priestley a publicar un trabajo completo sobre*Historia y estado actual de la electricidad*en 1767.Pero fue el italiano Luigi Galvani, profesor de anatomía en la Universidad de Bolonia, quien, en 1780, dio los primeros pasos importantes hacia la comprensión de la electricidad cuando notó que una pata de rana se contraía.

Galvani estaba investigando la teoría de que los animales son impulsados por la "electricidad animal", sea lo que sea, y estaba diseccionando ranas para buscar evidencia de esto. Se dio cuenta de que si había una máquina cerca que generaba electricidad estática, la pata de una rana que yacía en el banco se contraía repentinamente, a pesar de que la rana había muerto hacía mucho tiempo. Lo mismo sucedió cuando se colgó una anca de rana en un gancho de latón que entró en contacto con una cerca de hierro. Galvani creía que esta evidencia respaldaba su creencia de que la electricidad provenía de la propia rana.

Luis Galvanise muestra aquí realizando su famoso experimento de ancas de rana. Él creía que los animales eran impulsados por una fuerza eléctrica, a la que llamó "electricidad animal".



El avance de Volta

El colega más joven de Galvani, Alessandro Volta, profesor de filosofía natural, estaba intrigado por las observaciones de Galvani y su teoría lo convenció inicialmente.

El propio Volta tenía una experiencia notable en experimentos con electricidad. En 1775, había inventado el "electróforo", un dispositivo que proporcionaba una fuente instantánea de electricidad para un experimento (el equivalente moderno es un condensador). Consistía en un

Ver también: Enrique Cavendish 78–79 Benjamín Franklin 81 José Priestley 82–83 Humphry Davy 114
Hans Christian Ørsted 120 miguel faraday 121

disco de resina frotado con piel de gato para darle una carga eléctrica estática. Cada vez que se colocaba un disco de metal sobre la resina, la carga se transfería, electrificando el disco metalico

Volta afirmó que la electricidad animal de Galvani estaba "entre las verdades demostradas". Pero pronto empezó a tener sus dudas. Llegó a la conclusión de que la electricidad que hacía que las ancas de la rana se movieran en el anzuelo provenía del contacto de dos metales diferentes (el bronce y el hierro). Publicó sus ideas en 1792 y 1793, y comenzó

investigando el fenómeno.

Volta descubrió que una sola unión de dos metales diferentes no producía mucha electricidad, aunque sí la suficiente como para sentir una curiosa sensación con la lengua. Pero luego tuvo la brillante idea de multiplicar el efecto haciendo una serie de uniones conectadas por agua salada. Tomó un disco pequeño de cobre, luego colocó un disco de zinc encima, luego un cartón mojado en agua salada, luego otro disco de cobre, zinc, cartón húmedo salado, cobre, zinc, y así sucesivamente, hasta tener una columna o pila. En otras palabras, creó una pila o "batería". El objetivo del cartón húmedo salado era transportar la electricidad sin permitir que los metales a ambos lados entraran en contacto entre sí.

El resultado fue, literalmente, electrizante. La batería cruda de Volta probablemente produjo solo unos pocos voltios (la unidad eléctrica que lleva su nombre), pero eso fue suficiente para hacer una pequeña chispa cuando los dos extremos estaban conectados por un trozo de alambre, y lo suficiente como para darle una leve descarga eléctrica.

la noticia se esparce

Volta hizo su descubrimiento en 1799 y la noticia se difundió rápidamente. Demostró el efecto a Napoleón Bonaparte en 1801, pero lo que es más importante, en marzo de 1800, informó de sus resultados en una larga carta a Sir Joseph Banks, presidente de la Royal Society en



Cada metal tiene un cierto poder, que es diferente de un metal a otro, de fijar el fluido eléctrico en movimiento.

Alejandro Volta



Cobre
disco

disco de zinc

disco de cartón

Individual
elemento

este diagramade una pila voltaica muestra los discos de cobre y zinc separados por cartón empapado en agua salada. Las pilas originales de Volta contenían un disco de zinc adicional en la parte inferior y un disco de cobre adicional en la parte superior. Más tarde se demostró que estos eran innecesarios para producir

la corriente electrica

Bretaña. La carta se titulaba “Sobre la electricidad excitada por el mero contacto de sustancias conductoras de diferentes tipos”, y en ella Volta describe su aparato: “Luego coloco horizontalmente, sobre una mesa o cualquier otro soporte, una de las piezas metálicas, para ejemplo uno de plata, y sobre el primero adapto uno de zinc; en el segundo coloco uno de los discos humedecidos, luego otro placa de plata seguida inmediatamente por otra de zinc... sigo formando... una columna lo más alta posible sin peligro de que se caiga.”

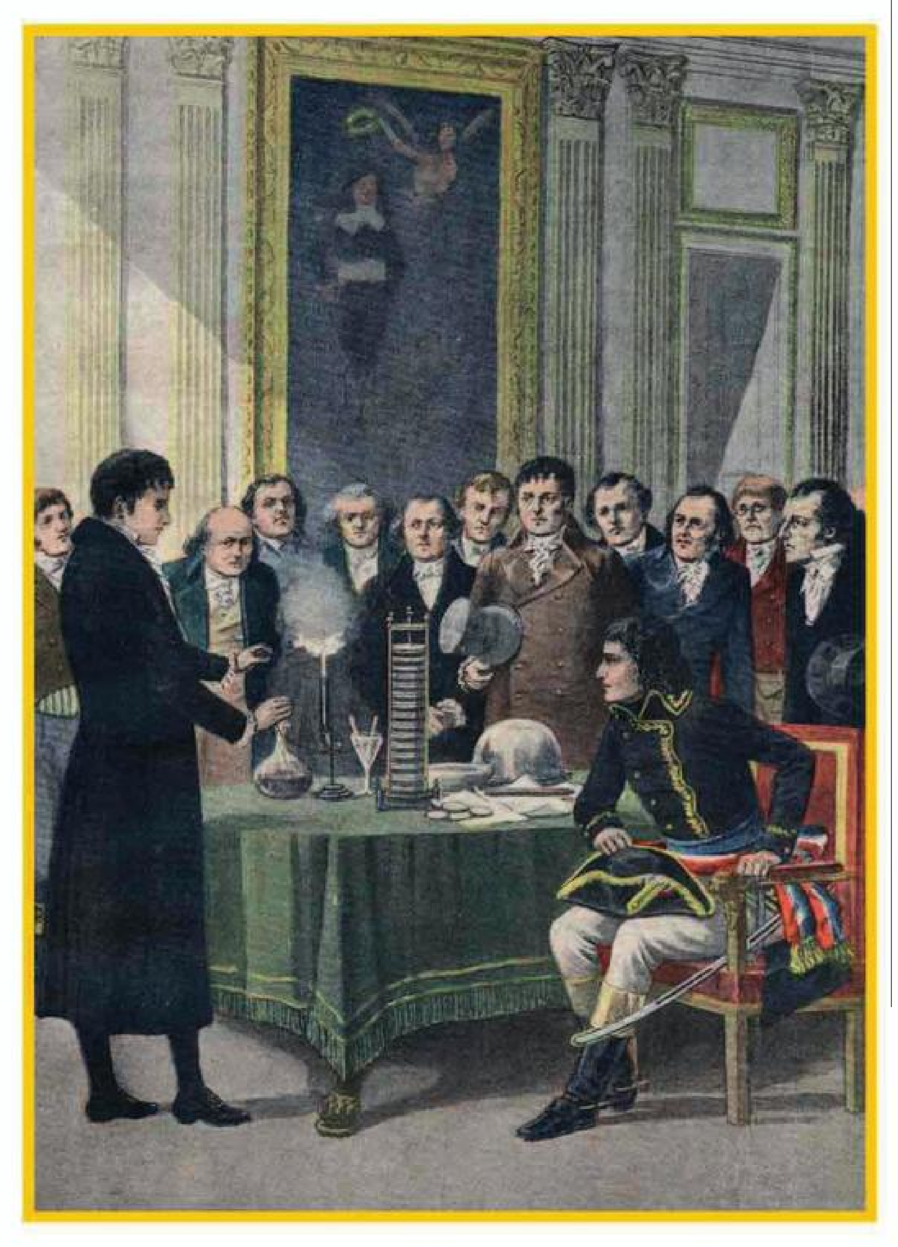
Sin zumbador ni semiconductor para detectar voltaje, Volta usó su cuerpo como detector, y no pareció importarle recibir descargas eléctricas: “Recibo de una columna formada por veinte pares de pedazos (no más) choques que afectan todo el dedo con considerable dolor.” Luego describe un aparato más elaborado, que consiste en una serie de tazas o vasos, cada uno con agua salada, dispuestos en una línea o un círculo. Cada par está conectado por una pieza de metal que se sumerge en el líquido de cada vaso. Un extremo de este metal es plata, el otro zinc, y estos metales pueden soldarse o unirse con un alambre de cualquier metal, siempre que solo la plata se sumerja en el líquido de una copa y solo el zinc en la siguiente. El explica

que esto es de alguna manera más conveniente que la pila sólida, aunque más engorroso.

Volta describe en detalle las diversas sensaciones desagradables que resultan de poner una mano en el cuenco en un extremo de la cadena y tocar un cable conectado al otro extremo en la frente, el párpado o la punta de la nariz: “No siento nada por algunos. momentos;
después, sin embargo, comienza en la parte aplicada al extremo del alambre, otra sensación, que es un dolor agudo (sin choque), limitado precisamente al punto de contacto, un estremecimiento, no sólo continuado, sino que continúa siempre. aumentando a tal grado, que en poco tiempo se vuelve insoportable, y no cesa hasta que el círculo se interrumpe.”

manía de la batería

Que su carta llegara a Banks es sorprendente, ya que las guerras napoleónicas estaban en curso,



Volta demostrósu pila eléctrica a Napoleón Bonaparte en el Instituto Nacional Francés en París en 1801. Napoleón quedó lo suficientemente impresionado como para convertir a Volta en un conde el mismo año.



El lenguaje del experimento es más autorizado que cualquier razonamiento: los hechos pueden destruir nuestro raciocinio [argumento lógico]—no al revés.

Alejandro Volta



pero Banks corrió la voz de inmediato a cualquiera que pudiera estar interesado. En cuestión de semanas, personas de toda Gran Bretaña estaban fabricando baterías eléctricas e investigando las propiedades de la electricidad actual. Antes de 1800, los científicos tenían que trabajar con electricidad estática, lo cual es difícil y poco gratificante. El invento de Volta les permitió descubrir cómo una variedad de materiales (líquidos, sólidos y gases) reaccionan a una corriente eléctrica activa.

Entre los primeros en trabajar con el descubrimiento de Volta se encuentran William Nicholson, Anthony Carlisle y William Cruickshank, quienes, en mayo de 1800, hicieron su propia "pila de treinta y seis medias coronas con las piezas correspondientes de zinc y cartón" y pasaron la corriente a través de alambres de platino en un tubo lleno de agua. Las burbujas de gas que aparecieron fueron identificadas como dos partes de hidrógeno y una parte de oxígeno. Henry Cavendish había demostrado que la fórmula del agua es H_2O, pero esta fue la primera vez que alguien dividió el agua en sus elementos separados.

La pila de Volta fue el antepasado de todas las pilas modernas, usadas en todo, desde audífonos hasta camiones y aviones. Sin baterías, muchos de nuestros dispositivos cotidianos no funcionarían.

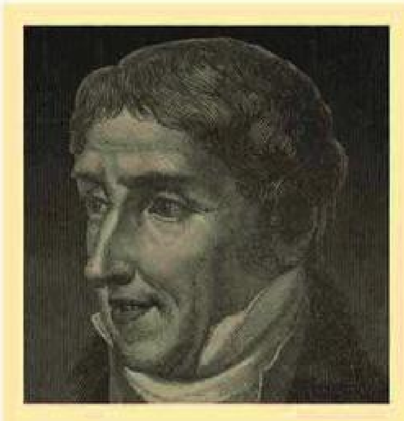
Reclasificación de metales

Además de impulsar el estudio de la electricidad actual y, por lo tanto, no solo crear una nueva rama de la física, sino también avanzar rápidamente en el desarrollo de la tecnología moderna, la pila de Volta condujo a una clasificación química completamente nueva de los metales, ya que probó una variedad de pares. de metales en su pila, y descubrió que algunos funcionaban mucho mejor que otros. La plata con el cinc hacía una excelente combinación, al igual que el cobre con el estaño, pero si probaba plata y plata, o estaño y estaño, no obtenía electricidad en absoluto; los metales tenían que ser

diferente. Demostró que los metales podían disponerse en una secuencia tal que cada uno se volvía positivo cuando se ponía en contacto con el siguiente debajo de él en la serie. Esta serie electroquímica ha sido invaluable para los químicos desde entonces.

¿Quién tenía razón?

Un aspecto irónico de esta historia es que Volta comenzó a investigar el contacto de diferentes metales solo porque dudaba de la hipótesis de Galvani. Sin embargo, Galvani no estaba del todo equivocado (nuestros nervios funcionan enviando impulsos eléctricos por todo el cuerpo), mientras que el propio Volta no entendió su teoría del todo bien. Él creía que la electricidad surgía simplemente del contacto de dos metales diferentes, mientras que Humphry Davy demostró más tarde que algo no podía surgir de la nada. Cuando se genera electricidad, se debe consumir algo más. Davy sugirió que estaba ocurriendo una reacción química, y esto lo llevó a más descubrimientos importantes sobre la electricidad.



Alejandro Volta

Nacido en 1745 en Como, norte de Italia, Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta se crió en una familia aristocrática y religiosa que esperaba que se convirtiera en sacerdote. En cambio, se interesó en la electricidad estática y, en 1775, fabricó un dispositivo mejorado para generarla, llamado "electróforo". Él descubrió metano en la atmósfera del lago Maggiore en 1776 e investigó su combustión mediante el novedoso método de encenderlo con una chispa eléctrica dentro de un recipiente de vidrio sellado.

En 1779, Volta fue nombrado profesor de física en la Universidad de Pavía, cargo que ocupó durante 40 años. Hacia el final de su vida, fue pionero en la pistola operada a distancia, mediante la cual una corriente eléctrica viajó 30 millas (50 km) desde Como a Milán y disparó una pistola. Este fue el precursor del telégrafo, que utiliza la electricidad para comunicarse. La unidad de potencial eléctrico, el voltio, lleva su nombre.

Obra clave

1769 *Sobre la fuerza de atracción del fuego eléctrico*

NINGÚN VESTIGO DE UN

COMIENZO

Y SIN PERSPECTIVA DE

UN FINAL

JAMES HUTTON (1726-1797)



EN CONTEXTO

RAMA
Geología

ANTES
siglo 10 Al-Biruni usa evidencia fósil para argumentar que la tierra alguna vez debió haber estado bajo el mar.

1687 Isaac Newton argumenta que la edad de la Tierra se puede calcular científicamente.

1779 Los experimentos del Comte de Buffon sugieren una edad de 74.832 años para la Tierra.

DESPUÉS
1860 John Phillips calcula la edad de la Tierra en 96 millones de años.

1862 Lord Kelvin calcula que el enfriamiento de la Tierra produce una edad de 20 a 400 millones de años, y luego se establece en 20 a 40 millones.

1905 Ernest Rutherford utiliza la radiación para fechar un mineral.

1953 Clair Patterson sitúa la edad de la Tierra en 4550 millones de años.

Fo milenios, humano las culturas han reflexionado la edad de la Tierra. Antes del advenimiento de la ciencia moderna, las estimaciones se basaban en creencias más que en evidencia. No fue hasta el siglo XVII que una comprensión cada vez mayor de la geología de la Tierra proporcionó los medios para determinar la edad del planeta.

Estimaciones bíblicas

En el mundo judeocristiano, las ideas sobre la edad de la Tierra se basaban en descripciones del Antiguo Testamento. Sin embargo, dado que estos textos solo presentaban la historia de la creación en un breve resumen, estaban sujetos a mucha interpretación, especialmente sobre las complejas cronologías genealógicas que siguieron a la aparición de Adán y Eva.

El más conocido de estos cálculos bíblicos es el de James Ussher, el primado protestante de toda Irlanda. En 1654, Ussher fijó la fecha de creación de la Tierra en la noche anterior al domingo 23 de octubre de 4004.antes de Cristo. Esta fecha quedó virtualmente consagrada en la cultura cristiana cuando se imprimió en muchas Biblias como parte de la cronología del Antiguo Testamento.



Todos los años desde la creación del mundo ascienden a un total de 5.698 años.
Teófilo de Antioquía



Un enfoque científico

Durante el siglo XCE, los estudiosos de Persia comenzaron a considerar la cuestión de la edad de la Tierra de forma más empírica. Al-Biruni, un pionero de la ciencia experimental, razonó que si se encontraron fósiles marinos en tierra firme, esa tierra debió haber estado alguna vez bajo el mar. La Tierra, concluyó, debe estar evolucionando durante largos períodos de tiempo. Otro erudito persa, Avicena, sugirió que se habían colocado capas de roca una sobre otra.

En 1687, Isaac Newton sugirió un enfoque científico del problema. Argumentó que un cuerpo grande como la Tierra tardaría unos 50.000 años en enfriarse si estuviera hecho de hierro fundido. Obtuvo esta cifra aumentando el tiempo de enfriamiento necesario para un "globo de hierro de una pulgada de diámetro, expuesto al rojo vivo al aire libre". Newton había abierto la puerta a un desafío científico a la comprensión previa de la formación de la Tierra.

Siguiendo el ejemplo de Newton, el naturalista francés Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon, experimentó con una gran bola de hierro al rojo vivo y demostró que si la Tierra estuviera hecha de hierro fundido, tardaría 74.832 años en enfriarse. En privado, Buffon pensó que la Tierra debía estar lejos



Ver también: Isaac Newton 62–69 · Luis Agassiz 128–29 · Carlos Darwin 142–49 · María Curie 190–95 · Ernest Rutherford 206–13

más antiguo, ya que se necesitarían eones de tiempo para que se formaran montañas de caliza a partir de los restos de fósiles marinos, pero no quería publicar esta opinión sin pruebas.

secretos de las rocas

En Escocia, James Hutton, uno de los filósofos naturales preeminentes de la Ilustración escocesa, estaba adoptando un enfoque bastante diferente al problema de la edad de la Tierra. Hutton fue un pionero del trabajo de campo geológico y utilizó evidencia de campo para demostrar sus argumentos a la Royal Society of Edinburgh en 1785.

Hutton quedó impresionado por la aparente continuidad de los procesos por los cuales el paisaje fue despojado y sus escombros depositados en el mar. Y, sin embargo, todos estos procesos no llevaron a la pérdida de la superficie terrestre, como cabría esperar. Tal vez pensando en la famosa máquina de vapor construida por su amigo James Watt, Hutton vio a la Tierra como “una máquina material que se mueve en todos los sentidos”.

sus partes”, con un nuevo mundo constantemente remodelado y reciclado de las ruinas del viejo.

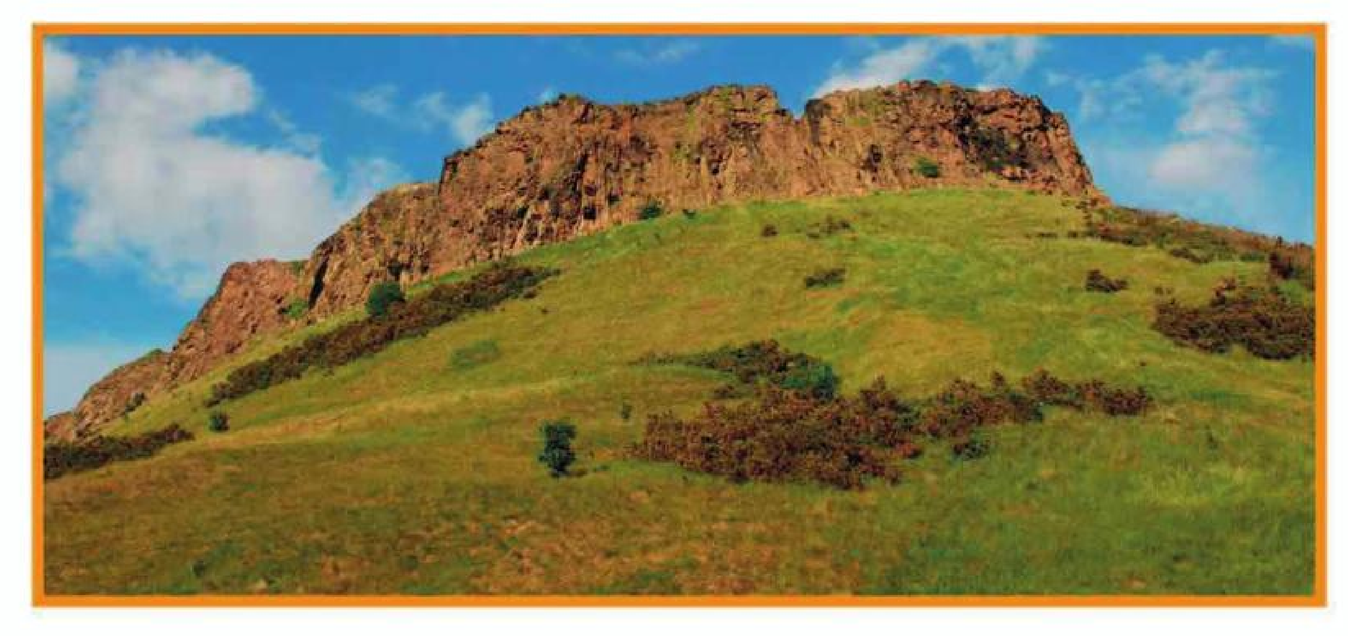
Hutton formuló su teoría Earthmachine antes de haber encontrado la evidencia que la respaldaba, pero, en 1787, encontró las "discordancias" que estaba buscando: rupturas en la continuidad de las rocas sedimentarias.

Vio que gran parte de la tierra había sido lecho marino, donde se depositaron y comprimieron capas de sedimentos. En muchos lugares, estas capas habían sido empujadas hacia arriba, de modo que estaban sobre el nivel del mar y, a menudo, distorsionadas, de modo que no eran horizontales. En repetidas ocasiones encontró que el material rocoso de la El límite superior truncado de los estratos más antiguos se incorporó a la base de las rocas más jóvenes de arriba.

Tales discordancias mostraban que había habido muchos episodios en la historia de la Tierra cuando el secuencia de erosión, transporte y deposición de escombros rocosos se había repetido, y cuando los estratos rocosos habían sido movidos por volcanes actividad. Hoy en día, esto se conoce como el ciclo geológico. A partir de esta evidencia, Hutton declaró que todos los continentes se forman a partir de materiales derivados de continentes anteriores por los mismos procesos, y que estos procesos aún operan hoy. Famosamente, escribió que "el resultado, por lo tanto, de esta presente investigación es que no encontramos ningún vestigio de un comienzo, ninguna perspectiva de un final".

La popularización de las ideas de Hutton sobre el “tiempo profundo” se debió principalmente a John Playfair, un científico escocés que publicó las observaciones de Hutton en un libro ilustrado, y al geólogo británico Charles Lyell, quien transformó las ideas de Hutton en un sistema llamado uniformitarismo. Este sostenía que las leyes de la naturaleza

En 1770, Hutton construyó una casa con vistas a Salisbury Crags en Edimburgo, Escocia. Entre los peñascos encontró evidencia de penetración volcánica a través de roca sedimentaria.

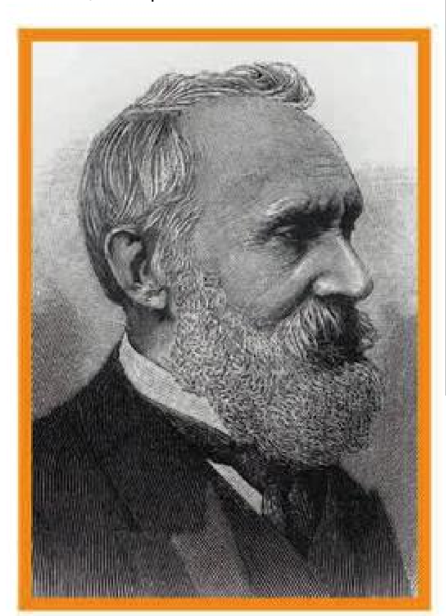


siempre han sido los mismos y, por lo tanto, las claves del pasado se encuentran en el presente. Sin embargo, mientras que las ideas de Hutton sobre la antigüedad del planeta sonaron verdaderas para los geólogos, todavía no había un método satisfactorio para determinar la edad del planeta.

Un enfoque experimental

Desde finales del siglo XVIII, los científicos habían reconocido que la corteza terrestre comprende capas sucesivas de estratos sedimentarios. El mapeo geológico de estos estratos reveló que acumulativamente son muy gruesos y muchos contienen los restos fósiles de los organismos que vivieron en sus respectivos ambientes de depósito. Para la década de 1850, la columna geológica de estratos (también conocida como columna estratigráfica) se había dividido más o menos en unos ocho sistemas de estratos y fósiles con nombre, cada uno de los cuales representaba un período de tiempo geológico.

Los geólogos quedaron impresionados por el espesor total de los estratos, estimado en 16 a 70 millas (25 a 112 km) de espesor. Tuvieron





La mente parecía marearse al mirar tan lejos en el abismo del tiempo.
Juan Playfair



observó que los procesos de erosión y deposición de los materiales rocosos que componen dichos estratos eran muy lentos, estimados en unas pocas pulgadas (centímetros) cada 100 años. En 1858, Charles Darwin hizo una incursión un tanto imprudente en el debate cuando estimó que la erosión había tardado unos 300 millones de años en atravesar las rocas del período Terciario y Cretácico de Weald en el sur de Inglaterra. En 1860, John Phillips, geólogo de la Universidad de Oxford, estimó que la Tierra tiene unos 96 millones de años.

Pero en 1862, tales cálculos geológicos fueron despreciados por el eminente físico escocés William Thomson (Lord Kelvin) por no ser científicos. Kelvin era un empirista estricto y argumentó que podía usar la física para determinar una edad precisa para la Tierra, que pensó que estaba limitada por la edad del Sol. La comprensión de las rocas de la Tierra, sus puntos de fusión y conductividad, había mejorado enormemente desde la época de Buffon. Kelvin

Señor Kelvinpronunció que el mundo tenía 40 millones de años en 1897, año en que se descubrió la radiactividad. No sabía que la desintegración radiactiva en la corteza terrestre genera un calor que reduce en gran medida la velocidad de enfriamiento.

tomó la temperatura inicial de la Tierra a 7000 °F (3900 °C) y aplicó la observación de que la temperatura aumenta a medida que desciende desde la superficie, aproximadamente 1 °F (0,5 °C) cada 50 pies (15 m) más o menos. A partir de esto, Kelvin calculó que la Tierra había tardado 98 millones de años en enfriarse hasta su estado actual, que luego redujo a 40 millones de años.

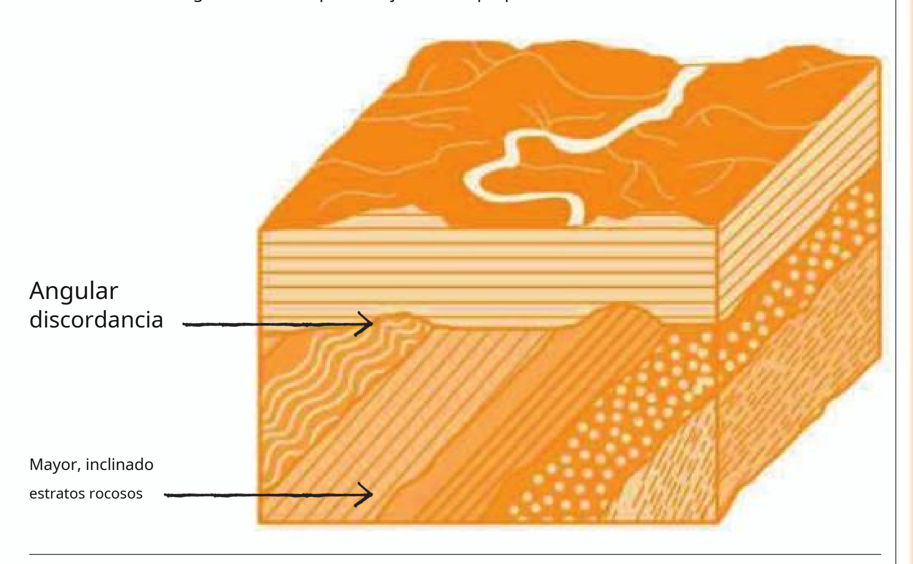
Un “reloj” radiactivo

Tal era el prestigio de Kelvin que su medida fue aceptada por la mayoría de los científicos. Los geólogos, sin embargo, se quedaron con la sensación de que 40 millones de años simplemente no era suficiente para las tasas observadas de los procesos geológicos, los depósitos acumulados y la historia. Sin embargo, ellos no tenía ningún método científico con el que contradecir a Kelvin.

En la década de 1890, el descubrimiento de elementos radiactivos naturales en algunos de los minerales y rocas de la Tierra proporcionó la clave que resolvería el punto muerto entre Kelvin y los geólogos, ya que la velocidad a la que se desintegran los átomos constituye un cronómetro fiable. En 1903, Ernest Rutherford predijo las tasas de descomposición radiactiva y sugirió que la radiactividad podría usarse como un "reloj" para datar los minerales y las rocas que los contienen.

En 1905, Rutherford obtuvo las primeras fechas radiométricas de formación de un mineral de Glastonbury, Connecticut: 497–500 millones de años. Advirtió que se trataba de fechas mínimas. En 1907, el radioquímico estadounidense Bertram Boltwood mejoró la técnica de Rutherford para producir las primeras fechas radiométricas de minerales en rocas con un contexto geológico conocido. Estos incluían un Roca de Sri Lanka de 2.200 millones de años, cuya edad aumentó las estimaciones anteriores en un orden

una inconformidades una superficie enterrada que separa dos estratos rocosos de diferentes edades. Este diagrama muestra una discordancia angular, similar a las descubiertas por James Hutton en la costa este de Escocia. Aquí, las capas de estratos rocosos han sido inclinadas por la actividad volcánica o los movimientos en la corteza terrestre, produciendo una discordancia angular con las capas más jóvenes superpuestas.



de magnitud En 1946, el geólogo británico Arthur Holmes había realizado algunas mediciones de isótopos de rocas con plomo de Groenlandia, lo que dio una edad de 3.015 millones de años. Esta fue una de las primeras edades mínimas confiables para la Tierra. Holmes pasó a estimar la edad del uranio del que se derivó el plomo, obteniendo una fecha de 4.460 millones de años, pero pensó que debía ser la edad de la nube de gas de la que se formó la Tierra.

Finalmente, en 1953, la geoquímica estadounidense Clair Patterson obtuvo la primera edad radiométrica generalmente aceptada de 4550 millones de años para la formación de la Tierra. No se conocen minerales o rocas que datan del origen de la Tierra, pero se cree que muchos meteoritos se originaron en el mismo evento en el sistema solar. Patterson calculó la fecha radiométrica de los minerales de plomo en el meteorito Canyon Diablo en 4510 millones de años. Comparándolo con la media edad radiométrica de 4560 millones de años para las rocas ígneas de granito y basalto en la corteza terrestre, concluyó que la similitud de las fechas era indicativa de la edad de formación de la Tierra. En 1956, había realizado más mediciones, lo que aumentó su confianza en la precisión de la fecha de 4550 millones de años. Esta sigue siendo la cifra aceptada por los científicos en la actualidad.



La historia pasada de nuestro globo debe ser explicada por lo que se puede ver que es ocurriendo ahora.

james hutton





james hutton

Nacido en 1726 de un comerciante respetado en Edimburgo, Escocia, James Hutton estudió humanidades en Universidad de Edimburgo. Se interesó por química y luego medicina, pero no ejerció como médico. En cambio, estudió las nuevas técnicas agrarias que se usaban en East Anglia, Inglaterra, donde su exposición a los suelos y las rocas de las que se derivaron lo llevó a interesarse por la geología. Esto lo llevó en expediciones de campo por toda Inglaterra y Escocia.

Regreso a Edimburgo

En 1768, Hutton se familiarizó con algunas de las principales figuras de la Ilustración escocesa, incluido el ingeniero James Watt y el filósofo moral Adam Smith. Durante los siguientes 20 años, Hutton desarrolló su famosa teoría de la edad de la Tierra y la discutió con sus amigos antes de finalmente publicar un esquema largo en 1788 y un libro mucho más extenso en 1795. Murió en 1797.

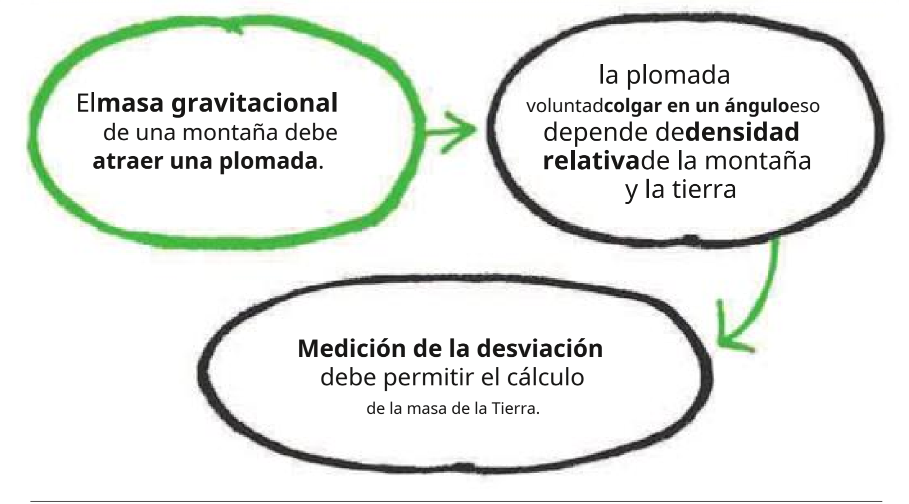
Obra clave

1795 *Teoría de la Tierra con Pruebas e Ilustraciones*



LA ATRACCIÓN
DE LAS MONTAÑAS

NEVIL MASKELYNE (1732–1811)



EN CONTEXTO

RAMA
ciencias de la tierra y fisica

ANTES
1687 Isaac Newton publica el *principios*, en el que sugiere experimentos para calcular la densidad de la Tierra.

1692 En un esfuerzo por explicar el campo magnético de la Tierra, Edmond Halley sugiere que el planeta consta de tres esferas huecas concéntricas.

1738 Pierre Bouguer intenta el experimento de Newton, sin éxito, en Chimborazo, un volcán en Ecuador.

DESPUÉS
1798henry cavendish usa un método diferente para calcular la densidad de la Tierra y encuentra que es 340 lb/ft3(5.448 kg/m3).

1854 George Airy calcula la densidad de la Tierra usando péndulos en una mina.

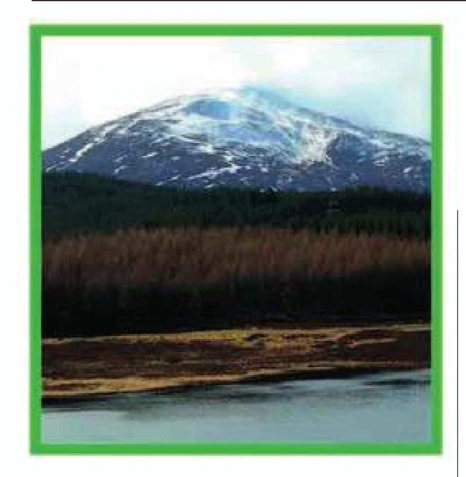
In el siglo XVII, Isaac Newton había sugerido métodos para “pesar la Tierra”—o calcular la densidad de la Tierra. Uno de estos implicó medir el ángulo de una plomada en cada lado de una montaña para averiguar qué tan lejos la atracción gravitacional de la montaña la arrancó de la vertical. Esta desviación podría medirse comparando la plomada con una vertical calculado usando métodos astronómicos. Si se pudiera determinar la densidad y el volumen de la montaña, entonces, por extensión, también se podría determinar la densidad de la Tierra.

Sin embargo, el propio Newton descartó la idea porque pensó que la desviación sería demasiado pequeña para medirla con los instrumentos de la época.

En 1738, Pierre Bouguer, un astrónomo francés, intentó el experimento en las laderas del Chimborazo en Ecuador. Sin embargo, el clima y la altitud causaron problemas y Bouguer no pensó que sus medidas fueran precisas.

En 1772, Nevil Maskelyne propuso a la Royal Society de Londres que el experimento se pudiera realizar en Gran Bretaña. La Sociedad estuvo de acuerdo y envió un agrimensor

Ver también: Isaac Newton 62–69 · Enrique Cavendish 78–79 John Michell 88–89



Schiehallion fue elegidocomo el sitio para el experimento porque tenía una forma simétrica y estaba aislado (y por lo tanto menos afectado por la atracción gravitacional de otras montañas).

para seleccionar una montaña apropiada. Eligió Schiehallion en Escocia y Maskelyne pasó casi cuatro meses haciendo observaciones desde ambos lados de la montaña.

La densidad de las rocas

La orientación de la plomada en comparación con las estrellas debería haber sido diferente en las dos estaciones, incluso sin efectos gravitatorios, debido a la diferencia de latitud. Sin embargo, incluso cuando se tuvo en cuenta esto, todavía había una diferencia de 11,6 segundos de arco (poco más de 0,003 grados). Maskelyne utilizó un estudio de la forma de la montaña y una medición de la densidad de sus rocas para calcular la masa de Schiehallion. Estaba asumiendo que toda la Tierra tenía la misma densidad que Schiehallion, pero la desviación de las plomadas mostró un valor medido de menos de la mitad de lo que esperaba. Maskelyne se dio cuenta de que la suposición de densidad no era correcta: la densidad de la Tierra era claramente mucho mayor que la de sus rocas superficiales, probablemente, razonó, debido a que el planeta tenía un núcleo metálico. El ángulo real observado se utilizó para calcular que la densidad total de la Tierra es aproximadamente el doble que la de las rocas de Schiehallion.

Este resultado refutó una teoría de la época, defendida por el astrónomo inglés Edmond Halley, que decía que la Tierra era hueca. También permitió extrapolar la masa de la Tierra a partir de su volumen y densidad media. El valor de Maskelyne para la densidad total de la Tierra fue de 280 lb/ft^3(4.500 kg/m^3). Comparado con el valor aceptado hoy de 344 lb/ft^3(5.515 kg/m^3), había calculado la densidad de la Tierra con un error de menos del 20 por ciento, y en el proceso había probado la ley de gravitación de Newton.



...la densidad media de la tierra es al menos el doble de la de la superficie...la densidad de las partes internas de la tierra es mucho mayor que cerca la superficie.

nevil maskelyne



nevil maskelyne



Nacido en Londres en 1732, Nevil Maskelyne se interesó por la astronomía en la escuela. Después de graduarse de la Universidad de Cambridge y ser ordenado sacerdote, se convirtió en miembro de la Royal Society en 1758 y fue Astrónomo Real desde 1765 hasta su muerte.

En 1761, la Royal Society envió a Maskelyne a la isla atlántica de Santa Elena para observar el tránsito de Venus. Las medidas tomadas cuando el planeta pasó a través del disco solar permitieron a los astrónomos calcular la distancia entre la Tierra y el Sol. también pasó mucho tiempo tratando de resolver el problema de medir la longitud en el mar, un problema importante del día. Su método consistía en medir cuidadosamente la distancia entre la Luna y una estrella dada, y consultando las tablas publicadas.

Trabajos clave

1764*Observaciones astronómicas realizadas en la isla de Santa Elena*
1775*Una cuenta de las observaciones hechas en la montaña Schehallien para encontrar su atracción*



EL MISTERIO DE LA NATURALEZA EN LA ESTRUCTURA Y FERTILIZACIÓN DE LAS FLORES

CRISTIANO SPRENGEL (1750–1816)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
1694botánico alemán Rudolph Camerarius muestra que las flores llevan las partes reproductivas de una planta.

1753 Carlos Linneo publica *Especie Plantarum*, ideando un sistema de clasificación guiado por la estructura floral.

1760 Josef Gottlieb Kölreuter, un botánico alemán, demuestra que se necesitan granos de polen para fertilizar una flor.

DESPUÉS
1831 El botánico escocés Robert Brown describe cómo los granos de polen germinan en el estigma de una flor (parte femenina).

1862charles darwin publica*Fertilización de Orquídeas*, un estudio detallado de la relación entre las flores y los insectos polinizadores.

IA mediados del siglo XVIII, el botánico sueco Carl Linnaeus se dio cuenta de que las partes de las flores son paralelas a los órganos reproductivos de los animales. Cuarenta años más tarde, un botánico alemán llamado Christian Sprengel descubrió cómo los insectos desempeñaban un papel importante en la polinización y, por lo tanto, la fertilización de las plantas con flores.

Beneficio mutuo

En el verano de 1787, Sprengel notó que los insectos visitaban las flores abiertas para alimentarse del néctar del interior. Comenzó a preguntarse si el néctar estaba siendo "anunciado".
por el color y patrón especial de los pétalos, y dedujo que los insectos estaban siendo atraídos hacia las flores, de modo que el polen del estambre (parte masculina) de una flor se pegó al insecto y fue llevado al pistilo (parte femenina) de otra flor . La recompensa del insecto fue una bebida de néctar rico en energía.

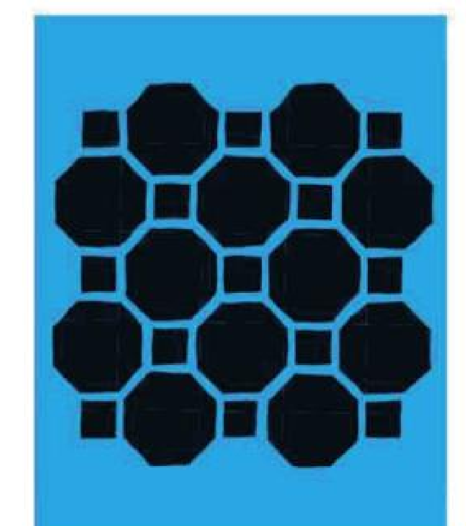
Sprengel descubrió que algunas plantas con flores, si carecen de color y olor, dependen del viento para dispersar su polen. También observó que muchas flores contienen tanto flores masculinas y partes femeninas, y que en éstas, las partes maduran en diferentes momentos, impidiendo la autofecundación.

Publicado en 1793, el trabajo de Sprengel fue subestimado en gran medida durante su vida. Sin embargo, finalmente se le dio el debido crédito cuando Charles Darwin lo utilizó como trampolín para sus propios estudios sobre la coevolución de las plantas con flores y las especies particulares de insectos que las polinizan y aseguran la fertilización cruzada, para su beneficio mutuo.



una abejaaterriza en las partes sexuales que se muestran en el centro de estos pétalos de colores brillantes. Las abejas representan el 80 por ciento de toda la polinización por insectos y polinizan un tercio de todos los cultivos alimentarios.

Ver también: Carlos Linneo 74–75 Carlos Darwin 142–49
Gregorio Mendel 166–71 Thomas Caza Morgan 224-25



ELEMENTOS COMBINAR SIEMPRE DE LA MISMA MANERA

JOSÉ PROUST (1754–1836)

EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES
c.400antes de Cristo El pensador griego Demócrito propone que, en última instancia, el mundo está hecho de diminutas partículas indivisibles: átomos.

1759 El químico inglés Robert Dossie argumenta que las sustancias se combinan cuando están en la proporción correcta, lo que él llama la "proporción de saturación".

1787 Antoine Lavoisier y Claude Louis Berthollet idean el sistema moderno de denominación de compuestos químicos.

DESPUÉS
1805 John Dalton muestra que los elementos están formados por átomos de una masa particular, que se combinan para formar compuestos.

1811 El químico italiano Amedeo Avogadro hace una distinción entre átomos y Moléculas formadas por átomos para formar compuestos.

Ta ley de las proporciones definidas, publicada por el químico francés Joseph Proust en 1794, muestra que no importa cómo se combinen los elementos, las proporciones de cada elemento en un compuesto son siempre exactamente las mismas. Esta teoría fue una de las ideas fundamentales sobre los elementos que surgieron en este período para formar la base de la química moderna.

Al hacer su descubrimiento, Proust estaba siguiendo una tendencia en la química francesa, iniciada por Antoine Lavoisier, que abogaba por la medición cuidadosa de pesos, proporciones y porcentajes. Proust estudió los porcentajes en que los metales se combinaban con el oxígeno en los óxidos metálicos. Concluyó que cuando se formaban los óxidos metálicos, la proporción de metal y oxígeno era constante. Si el mismo metal se combinaba con oxígeno en diferente proporción, formaba un compuesto diferente con propiedades diferentes.

No todos estaban de acuerdo con Proust, pero en 1811, el químico sueco Jöns Jakob Berzelius se dio cuenta de que la teoría de Proust encajaba



El hierro, como muchos otros metales, está sujeto a la ley de la naturaleza. que preside toda combinación verdadera, que es decir, que une con dos constantes proporciones de oxígeno.

José Proust



La nueva teoría atómica de los elementos de John Dalton: que los elementos están hechos cada uno de sus propios átomos únicos. Si un compuesto siempre está hecho de la misma combinación de átomos, el argumento de Proust de que los elementos siempre se combinan en forma fija las proporciones deben ser verdaderas. Esto ahora se acepta como una de las leyes clave de la química.

Ver también: Enrique Cavendish 78–79 Antonio Lavoisier 84Juan Dalton 112–13 Jöns Jakob Berzelius 119 Dmitri Mendeleiev 174–79

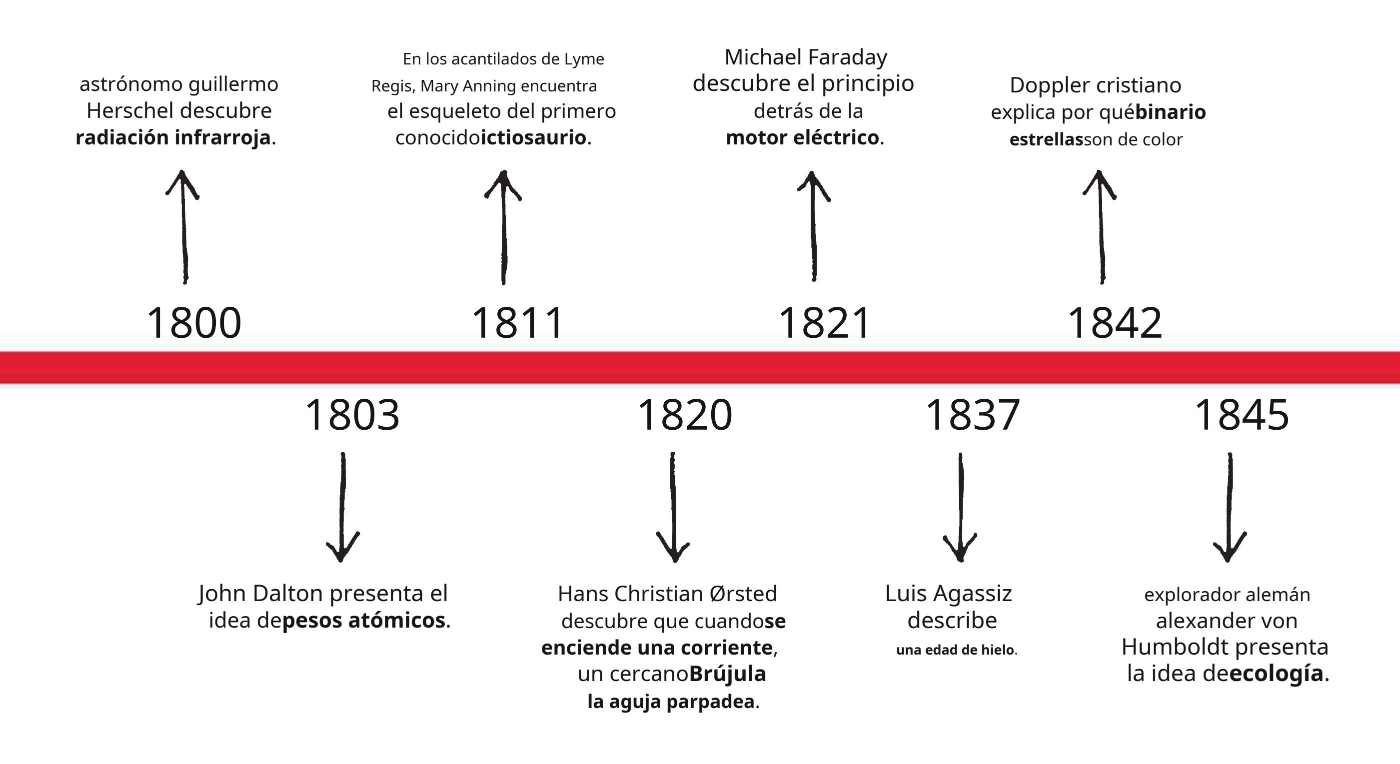
UN CENTAVO

DE PRO

1800-1900

RY

GRESS



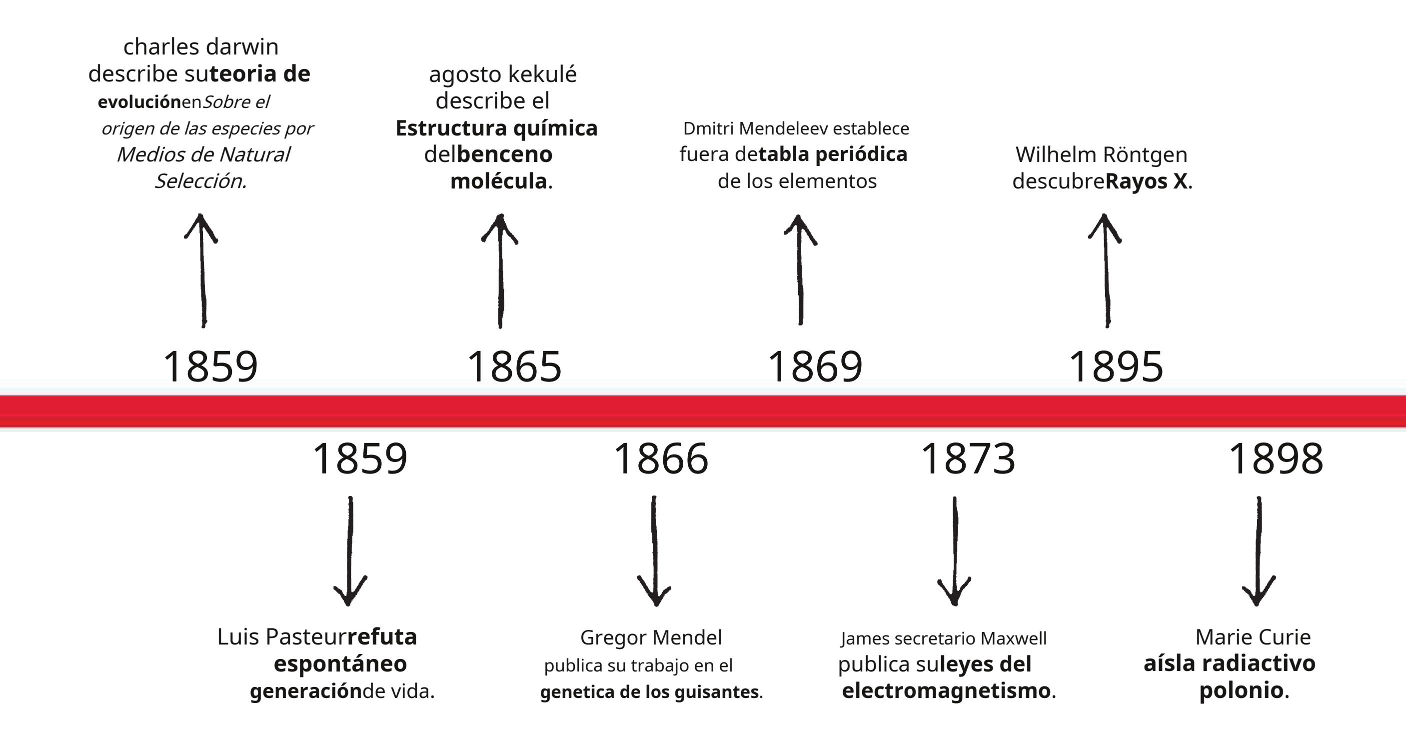
Ta invención de la batería eléctrica en 1799 abrió campos completamente nuevos de investigación científica. En Dinamarca, Hans Christian Ørsted descubrió accidentalmente una conexión entre la electricidad y el magnetismo. En la Institución Real de Londres, Michael Faraday imaginó las formas de los campos magnéticos e inventó el primer motor eléctrico del mundo. En Escocia, James Clerk Maxwell recogió las ideas de Faraday y descubrió las complejas matemáticas del electromagnetismo.

viendo lo invisible

Se descubrieron formas invisibles de ondas electromagnéticas antes de que se entendieran o de que se descifraran las leyes que rigen su comportamiento. Trabajando en Bath, Gran Bretaña, astrónomo alemán William Herschel usó un prisma para separar los distintos colores de la luz solar para estudiar su temperaturas; descubrió que su termómetro mostraba una temperatura más alta más allá del extremo rojo del espectro visible. Herschel se había topado con la radiación infrarroja, y la radiación ultravioleta se descubrió al año siguiente, demostrando que había más en el espectro que la luz visible. De manera accidental similar, Wilhelm Röntgen descubrió más tarde los rayos X en su laboratorio en Alemania. El médico británico Thomas Young ideó un ingenioso experimento de doble rendija para determinar si la luz es realmente una onda o una partícula. Su descubrimiento de la interferencia ondulatoria pareció resolver la discusión. En Praga, el físico austriaco Christian Doppler explicó el color de estrellas binarias utilizando la idea de que la luz es una onda con un espectro de varias frecuencias, presentando el fenómeno ahora conocido como efecto Doppler. Mientras tanto, en París, los físicos franceses Hippolyte Fizeau y Léon Foucault midieron la velocidad de la luz y demostraron que viaja más lentamente por el agua que por el aire.

Cambios químicos

El meteorólogo británico John Dalton sugirió tentativamente que los pesos atómicos podrían ser un concepto útil para los químicos y se aventuró a estimar algunos de ellos. Quince años después, el químico sueco Jöns Jakob Berzelius elaboró una lista mucho más completa de pesos atómicos. Su alumno, el químico alemán Friedrich Wöhler, convirtió una sal inorgánica en una orgánica.

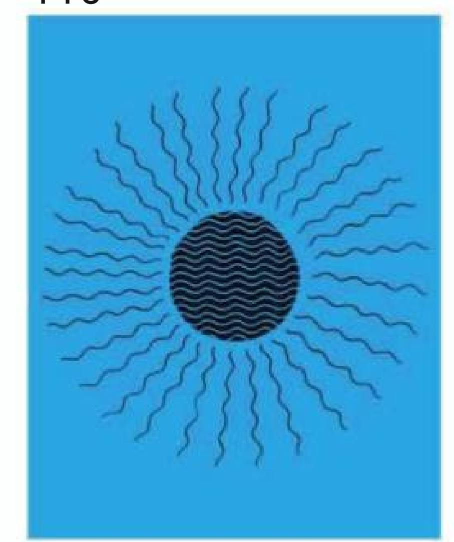


compuesto, y así refutó la idea de que la química de la vida operaba de acuerdo con reglas separadas. En París, Louis Pasteur demostró además que la vida no puede generarse espontáneamente. La inspiración para nuevas ideas provino de varios sectores. La estructura de la molécula del benceno se le ocurrió al químico alemán August Kekulé mientras se dormía, mientras que el químico ruso Dmitri Mendeleev utilizó una baraja de cartas para resolver el problema de la tabla periódica de los elementos. Marie (Skłodowska) Curie aisló el polonio y el radio, y se convirtió en la única persona en ganar premios Nobel tanto en Química como en Física.

Pistas del pasado

El siglo vio nada menos que una revolución en la comprensión de la vida. En la costa sur de Inglaterra, Mary Anning documentó una serie de fósiles de criaturas extintas que había excavado en los acantilados. Poco después, Richard Owen acuñó la palabra "dinosaurios" para describir a los "terribles lagartos" que alguna vez vagaron por el planeta. El geólogo suizo Louis Agassiz sugirió que grandes partes de la Tierra alguna vez estuvieron cubiertas de hielo, ampliando aún más la idea de que la Tierra ha experimentado condiciones muy diferentes a lo largo de su historia. Alexander von Humboldt utilizó conocimientos interdisciplinarios para descubrir las conexiones en la naturaleza y estableció el estudio de ecología. En Francia, Jean-Baptiste Lamarck esbozó una teoría de la evolución, creyendo erróneamente que la transmisión de las características adquiridas era su fuerza motriz. Luego, en la década de 1850, los naturalistas británicos Alfred Russel Wallace y Charles Darwin dieron con la idea de la evolución por medio de la selección natural. TH Huxley demostró que las aves bien pueden haber evolucionado a partir de los dinosaurios, y la evidencia para apoyar la evolución aumentó. Mientras tanto, un fraile silesio de habla alemana llamado Gregor Mendel resolvió las leyes básicas de la genética mediante el estudio de miles de plantas de guisantes. El trabajo de Mendel sería descuidado durante algunas décadas, pero su redescubrimiento proporcionaría el mecanismo genético para la selección natural.

En 1900, se alega que el físico británico Lord Kelvin dijo: “Ahora no hay nada nuevo por descubrir en física. Todo lo que queda es una medición cada vez más precisa”. Poco podía haber sospechado qué sorpresas estaban a la vuelta de la esquina.



LOS EXPERIMENTOS PUEDE REPETIRSE CON GRAN FACILIDAD CUANDO BRILLA EL SOL

TOMÁS JOVEN (1773–1829)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1678 Christiaan Huygens primero propone que la luz viaja como ondas. El publica su *Tratado sobre la luz*en 1690.

1704en su libro*óptica*, Isaac Newton sugiere que la luz se compone de corrientes de partículas, o "corpúsculos".

DESPUÉS
1905 Albert Einstein argumenta que la luz debe considerarse como partículas, más tarde llamadas fotones, así como ondas.

1916 El físico estadounidense Robert Andrews Millikan demuestra que Einstein estaba en lo cierto a través de un experimento.

1961 Claus Jönsson repite el experimento de doble rendija de Young con electrones y muestra que, como la luz, pueden se comportan tanto como ondas como partículas.

Si**luz**esta hecho de**partículas** eso**viajar en línea recta**, entonces esto se puede demostrar en un experimento sencillo...

Haga brillar una luz a través de dos rendijas adyacentes en una pantalla.**Dos charcos de luz** debe ser visto en la pantalla.

Pero en cambio, crea **patrones de interferencia de luz y oscuridad**, tal como lo harían las olas del agua si el agua fluyera a través de dos rendijas.

La luz debe viajar como ondas.

A principios del siglo XIX, la opinión científica estaba dividida sobre la cuestión de la naturaleza de la luz. Isaac Newton había argumentado que un haz de luz está hecho de innumerables,
pequeños “corpúsculos” (partículas) que se mueven rápidamente. Si la luz consiste en estos corpúsculos en forma de bala, dijo, esto explicaría por qué la luz viaja en línea recta y proyecta sombras.

Pero los corpúsculos de Newton no explicaron por qué la luz se refracta (se dobla cuando entra en el vidrio) o se divide en los colores del arco iris, también un efecto de la refracción. Christiaan Huygens había argumentado que la luz no se compone de partículas, sino de ondas. Si la luz viaja como ondas, dijo Huygens, es fácil explicar estos efectos. Sin embargo, la estatura de Newton fue tal que la mayoría de los científicos respaldaron la teoría de partículas.

Luego, en 1801, el médico y físico británico Thomas Young ideó un diseño para un experimento simple pero ingenioso que, según creía, resolvería la cuestión de una forma u otra. La idea comenzó cuando Young estaba mirando los patrones de luz hechos por una vela que brillaba a través de una neblina de agua fina.
gotas. El patrón mostraba anillos de colores alrededor de un brillante

Ver también: Christiaan Huygens 50–51 Léon Isaac Newton 62–69
Foucault 136–37 Albert Einstein 214–21

centro, y Young se preguntó si los anillos podrían ser causados por ondas de luz que interactúan.

El experimento de la doble rendija

Young hizo dos cortes en un trozo de cartón y los iluminó con un rayo de luz. En una pantalla de papel colocada detrás de las rendijas, la luz creó un patrón que convenció a Young de que se trataba de ondas. Si la luz fueran corrientes de partículas, como dijo Newton, simplemente debería haber una franja de luz directamente más allá de cada rendija. En cambio, Young vio bandas alternas claras y oscuras, como un código de barras borroso. Argumentó que a medida que las ondas de luz se extienden más allá de las rendijas, interactúan. Si dos ondas se ondulan hacia arriba (pico) o hacia abajo (mínimo) al mismo tiempo, forman una onda el doble de grande (interferencia constructiva), creando las bandas brillantes. Si una onda sube mientras la otra baja, se anulan entre sí (interferencia destructiva), creando las bandas oscuras. Young también demostró que diferentes colores de luz crean diferentes interferencias

patrones. Esto demostró que el color de la luz depende de su longitud de onda. Durante un siglo, el experimento de la doble rendija de Young convenció a los científicos de que la luz es una onda, no una partícula. Luego, en 1905, Albert Einstein demostró que la luz también se comporta como si fuera una corriente de partículas: puede comportarse como una onda y una partícula. Tal fue la simplicidad del experimento de Young que, en 1961, el físico alemán Claus Jönsson lo usó para demostrar que los electrones de las partículas subatómicas producen una interferencia similar, por lo que también deben ser ondas.



> Las investigaciones científicas son una especie de guerra contra todos los contemporáneos y predecesores.
> **Tomás joven**





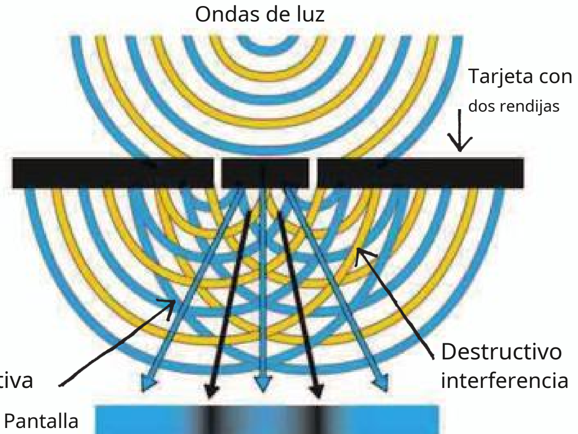
Tomás joven

El mayor de 10 niños criados por padres cuáqueros en Somerset, Inglaterra, la mente brillante de Thomas Young lo convirtió en un niño prodigio, y fue apodado el "fenómeno joven". A los 13 años, podía leer cinco idiomas con fluidez. Como adulto, hizo la primera traducción moderna de jeroglíficos egipcios.

Después de la formación médica en Escocia, Young se estableció como médico en Londres en 1799, pero era un verdadero erudito que, en su tiempo libre, investigaba de todo, desde una teoría de la afinación musical hasta la lingüística. Sin embargo, es más famoso por su trabajo sobre la luz. Además de establecer el principio de interferencia de la luz, ideó la primera teoría científica moderna de la visión del color, argumentando que vemos los colores como proporciones variables de los tres colores principales: azul, rojo y verde.

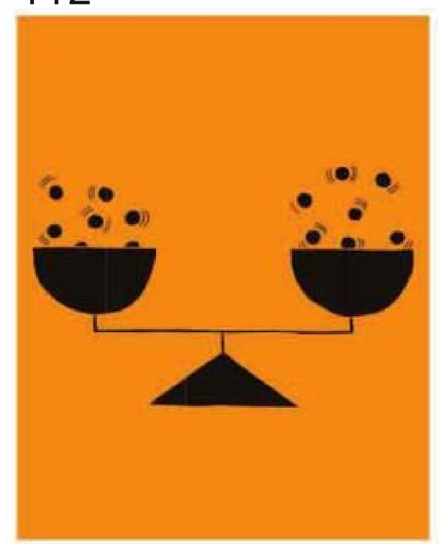
Trabajos clave

1804 *Experimentos y Cálculos Relativos a la Óptica Física*
1807 *Curso de Conferencias sobre Filosofía Natural y Artes Mecánicas*





Aquí, la luz viaja a través de dos ranuras en un trozo de tarjeta, y llega a una pantalla. Las ondas de luz que pasan a través de las rendijas interfieren. donde picos (amarillo) se cruzan con valles (azul), hay interferencia destructiva. Donde los picos se cruzan con picos y valles con valles, hay interferencia constructiva.



DETERMINAR LA PESOS RELATIVOS DE ÚLTIMAS PARTÍCULAS

JUAN DALTON (1766–1844)

EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES

c.400antes de Cristo Demócrito propone que el mundo está hecho de partículas indivisibles.

siglo VIIICE El erudito persa Jabir ibn Hayyan (o Geber) clasifica los elementos en metales y no metales.

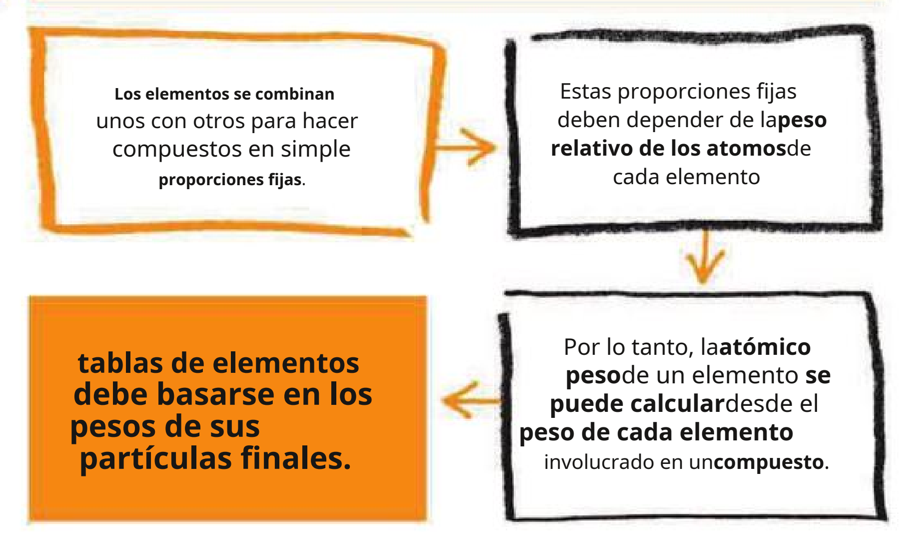
1794 Joseph Proust demuestra que los compuestos siempre están formados por elementos combinados en las mismas proporciones.

DESPUÉS

1811 Amedeo Avogadro demuestra que volúmenes iguales de diferentes gases contienen igual número de moléculas.

1869 Dmitri Mendeleev elabora una tabla periódica, mostrando los elementos por peso atómico.

1897A través de su descubrimiento del electrón, JJ Thomson demuestra que los átomos no son la partícula más pequeña posible.



Ta finales del siglo XVIII, los científicos habían comenzado a darse cuenta de que el mundo se compone de una gama de sustancias básicas o elementos químicos. Pero nadie estaba seguro de qué era un elemento. Fue John Dalton, un meteorólogo inglés, quien, a través de su estudio del clima, vio que cada elemento está hecho completamente de sus propios átomos únicos e idénticos, y es este átomo especial el que distingue y define un elemento. Al desarrollar la teoría atómica de los elementos, Dalton sentó las bases de la química.

La idea de los átomos se remonta a la antigua Grecia, pero siempre se supuso que todos los átomos eran idénticos. El gran avance de Dalton fue entender que cada elemento está hecho de diferentes átomos. Describió los átomos que componían los elementos entonces conocidos, incluidos el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno, como "partículas sólidas, masivas, duras, impenetrables y móviles".

Las ideas de Dalton se originaron en su estudio de la forma en que la presión del aire afectaba la cantidad de agua que podía absorber el aire. Se convenció de que el aire es

Ver también: José Proust 105 · Dmitri Mendeleiev 174–79



Una investigación sobre el peso relativo de las partículas últimas de los cuerpos es un tema, Que yo sepa, totalmente nuevo.



Juan Dalton



una mezcla de diferentes gases. Mientras experimentaba, observó que una determinada cantidad de oxígeno puro absorbería menos vapor de agua que la misma cantidad de nitrógeno puro, y llegó a la notable conclusión de que esto se debe a que los átomos de oxígeno son más grandes y pesados que los átomos de nitrógeno.

asuntos de peso

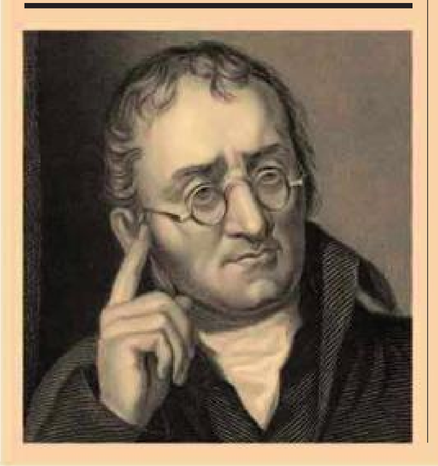
En un instante de perspicacia, Dalton se dio cuenta de que los átomos de diferentes elementos se podían distinguir por diferencias en sus pesos. Vio que los átomos, o "partículas últimas", de dos o más elementos se combinaban para formar compuestos en proporciones muy simples, por lo que podía calcular el peso de cada átomo por el peso de cada elemento involucrado en un compuesto. Muy rápidamente, descubrió el peso atómico de cada elemento entonces conocido.

Dalton se dio cuenta de que el hidrógeno era el gas más liviano, por lo que le asignó un peso atómico de 1. Debido al peso del oxígeno que se combina con el hidrógeno en el agua, le asignó al oxígeno un peso atómico de 7. Sin embargo, había una falla en el peso atómico de Dalton. método, porque no se dio cuenta de que los átomos de un mismo elemento pueden combinarse. Siempre supuso que un compuesto de átomos, una molécula, tenía solo un átomo de cada elemento. Pero El trabajo de Dalton había puesto a los científicos en el camino correcto y, en una década, el físico italiano Amedeo Avogadro había ideado un sistema de proporciones moleculares para calcular correctamente los pesos atómicos. Sin embargo, la idea básica de la teoría de Dalton, que cada elemento tiene sus propios átomos de tamaño único, ha demostrado ser cierta.



mesa de daltonmuestra símbolos y pesos atómicos de diferentes elementos. Dalton se sintió atraído por la teoría atómica a través de la meteorología, cuando se preguntó por qué las partículas de aire y agua podían mezclarse.

Juan Dalton



Nacido en una familia cuáquera en el Distrito de los Lagos de Inglaterra en 1766, John Dalton realizó observaciones periódicas del tiempo desde los 15 años. Estas observaciones proporcionaron muchas ideas clave, como que la humedad atmosférica se convierte en lluvia cuando el aire se enfría. Además de sus estudios meteorológicos, Dalton quedó fascinado por una condición que él y su hermano compartían: el daltonismo. Su artículo científico sobre el tema le valió la admisión en la Sociedad Filosófica y Literaria de Manchester, de la que fue elegido presidente en 1817. Escribió cientos de artículos científicos. artículos para la Sociedad, incluidos los relacionados con su teoría atómica. La teoría atómica fue rápidamente aceptada y Dalton se convirtió en una celebridad en su propia vida. Más de 40,000 personas. asistió a su funeral en Manchester en 1844.

Trabajos clave

1805*Investigación experimental de la proporción de los diversos gases o fluidos elásticos, Constituyendo la Atmósfera*
1808–27*Nuevo sistema de filosofía química*



LA QUÍMICA

EFECTOS PRODUCIDOS POR ELECTRICIDAD

HUMPHRY DAVY (1778–1829)

EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES
1735químico sueco Georges Brandt descubre el cobalto, el primero de muchos nuevos elementos metálicos que se encontrarán en los próximos 100 años.

1772 El médico italiano Luigi Galvani nota el efecto de la electricidad en una rana y cree que la electricidad es biológica.

1799 Alessandro Volta demuestra que tocar metales produce electricidad y crea la primera batería.

DESPUÉS
1834 El ex asistente de Davy, Michael Faraday, publica las leyes de la electrólisis.

1869 Dmitri Mendeleiev ordena los elementos conocidos en una tabla periódica, creando un grupo para los metales alcalinos blandos que Davy había sido el primero en identificar en 1807.

In 1800, Alessandro Volta inventó la "pila voltaica", la primera batería del mundo, y pronto muchos otros científicos comenzaron a experimentar con baterías.

El químico inglés Humphry Davy se dio cuenta de que la electricidad de la batería se produce por una reacción química. La carga eléctrica fluye a medida que los dos metales diferentes de la pila (los electrodos) reaccionan a través del papel empapado en salmuera que se encuentra entre ellos. En 1807, Davy descubrió que podía usar la carga eléctrica de una pila para dividir compuestos químicos, descubriendo nuevos elementos y siendo pionero en un proceso que más tarde se denominó electrólisis.

nuevos metales

Davy insertó dos electrodos en hidróxido de potasio seco (potasa), que humedeció exponiéndolo al aire húmedo de su laboratorio para que condujera la electricidad. Para su deleite, comenzaron a formarse glóbulos metálicos en el electrodo cargado negativamente. Los glóbulos eran un elemento nuevo: el potasio metálico. Unas semanas más tarde, electrolizó hidróxido de sodio (sosa cáustica) en de la misma manera y produjo el metal sodio. En 1808, utilizó la electrólisis para descubrir otros cuatro elementos metálicos: calcio, bario, estroncio y magnesio, y el metaloide boro. Al igual que la electrólisis, su uso comercial resultaría muy valioso.



Aparato usado Davysimilar a esto en sus conferencias en la Institución Real de Londres para mostrar cómo la electrólisis divide el agua en sus dos elementos, hidrógeno y oxígeno.

Ver también: Alessandro Volta 90–95 · Jöns Jakob Berzelius 119 · Hans Christian Ørsted 120 · miguel faraday 121 · Dmitri Mendeleiev 174–79



MAPEO DEL ROCAS DE UNA NACIÓN

GUILLERMO SMITH (1769–1839)

EN CONTEXTO

RAMA
Geología

ANTES

1669 Nicholas Steno publica los principios de la estratigrafía que guiarán la comprensión de los estratos rocosos por parte de los geólogos.

1760 En Alemania, los geólogos Johann Lehmann y Georg Füchsel realizan algunas de las primeras secciones medidas y mapas de estratos geológicos.

1813 El geólogo inglés Robert Bakewell elabora el primer mapa geognóstico de tipos de rocas en Inglaterra y Gales.

DESPUÉS

1835 Se funda el Servicio Geológico de Gran Bretaña para realizar un mapeo geológico sistemático del país.

1878 Se celebra en París el primer Congreso Geológico Internacional. Desde entonces, se han celebrado congresos cada tres o cinco años.

I A mediados y finales del siglo XVIII, la necesidad de encontrar combustibles y minerales para impulsar la Revolución Industrial de Europa estimuló un interés creciente en la producción de mapas geológicos. Los mineralogistas alemanes Johann Lehmann y Georg Füchsel produjeron vistas aéreas detalladas que muestran la topografía y los estratos rocosos. Muchos mapas geológicos posteriores hicieron poco más que mostrar la distribución superficial de diferentes tipos de rocas, hasta el trabajo pionero de Georges Cuvier y Alexandre Brongniart en Francia, que cartografió la geología de la cuenca de París en 1811, y William Smith en Gran Bretaña.



Los fósiles organizados son para el naturalista como monedas al anticuario.
Guillermo Smith



Primer mapa nacional

Smith fue un ingeniero y agrimensor autodidacta que elaboró el primer mapa geológico nacional en 1815, que mostraba Inglaterra, Gales y parte de Escocia. Mediante la recopilación de muestras de minas, canteras, acantilados, canales y desmontes de carreteras y vías férreas, Smith estableció la sucesión de estratos rocosos, utilizando el método de Steno.
principios de estratigrafía e identificación de cada estrato por sus fósiles característicos. También dibujó secciones verticales de la sucesión de estratos y la geología estructuras en las que se habían formado por los movimientos de la tierra.

Durante las próximas décadas, se establecieron los primeros estudios geológicos nacionales y se dispusieron a cartografiar metódicamente la totalidad de sus países. La correlación de estratos de edad similar a través de las fronteras nacionales se logró mediante un acuerdo internacional en la última parte del siglo XIX.

Ver también: Nicolás Steno 55 · James Hutton 96-101 · María Anning 116–17 · Louis Agassiz 128–29



ELLA SABE A QUE TRIBU LA

LOS HUESOS PERTENECEN

MARÍA ANNING (1799–1847)

fósilesson los**Preservado restos**de las plantas y animales

Los fósiles han sido encontrado de**los animales grandes ya no están**hoy.

En el pasado,**animales muy diferentes**vivido en la Tierra.

EN CONTEXTO

RAMA
Paleontología

ANTES

Siglo 11 El erudito persa Avicena (Ibn Sina) sugiere que las rocas pueden formarse a partir de fluidos petrificados, lo que lleva a la formación de fósiles.

1753 Carl Linnaeus incluye fósiles en su sistema de clasificación biológica.

DESPUÉS

1830 El artista británico Henry De la Beche pinta una de las primeras paleo-reconstrucciones de una escena del "tiempo profundo".

1854 Richard Owen y Benjamín Waterhouse Hawkins hace las primeras reconstrucciones a tamaño real de plantas y animales extintos.

Principios del siglo 20 El desarrollo de técnicas de datación radiométrica permite a los científicos fechar fósiles según los estratos rocosos en los que se encuentran.

Ba finales del siglo XVIII, se aceptaba generalmente que los fósiles eran los restos de organismos vivos que se habían petrificado cuando el sedimento a su alrededor se endureció en roca. Tanto los fósiles como los organismos vivos habían sido clasificados por primera vez en una jerarquía de especies, géneros y familias por naturalistas como el taxónomo sueco Carl Linnaeus. Sin embargo, los restos fósiles todavía se veían de forma aislada. de su contexto ambiental y biológico.

A principios del siglo XIX, el descubrimiento de grandes huesos fosilizados diferentes a los de cualquier animal vivo planteó muchas preguntas nuevas. Dónde ¿encajaban en los sistemas de clasificación y cuándo se extinguieron? Dentro de la cultura judeocristiana del mundo occidental, generalmente se pensaba que un Dios benévolo no habría permitido que ninguna de sus creaciones se extinguiera.

Monstruos del abismo

Algunos de los primeros de estos restos fósiles grandes y distintivos fueron encontrados por la familia Anning de coleccionistas de fósiles alrededor de Lyme Regis en la costa del sur de Inglaterra. Aquí, los estratos de piedra caliza y esquisto del período Jurásico afloran en los acantilados, donde son erosionados por el mar para revelar abundantes restos de antiguos organismos marinos. En 1811, José

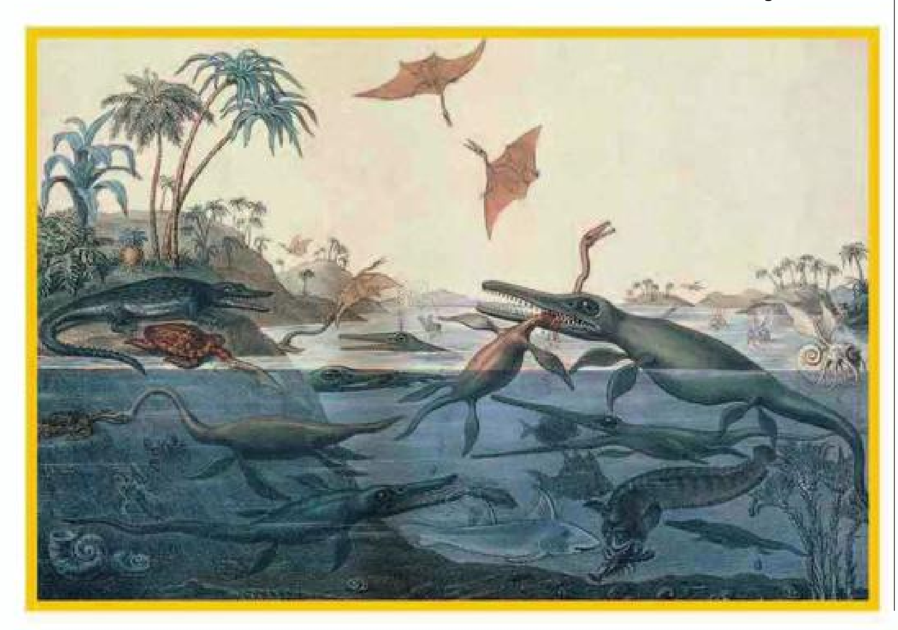
Ver también: Carl Linneo 74–75 Carlos Darwin 142–49
Thomas Henry Huxley 172–73

Anning encontró un cráneo de 4 pies (1,2 m) de largo con un pico dentado curiosamente alargado. Su hermana Mary encontró el resto del esqueleto, que vendieron por alrededor de $37 (£23). Expuesto en Londres, este fue el primer esqueleto completo de un extinto "monstruo del abismo" y atrajo una gran cantidad de atención popular. Fue identificado como un reptil marino extinto y recibió el nombre de ictiosaurio, que significa "pez-lagarto".

La familia Anning pasó a encontrar más ictiosaurios y el primer espécimen completo de otro reptil marino, el plesiosaurio, además del primer espécimen británico de un reptil volador, nuevos peces fósiles y mariscos. Entre los peces que encontraron había cefalópodos conocidos como belemnites, algunos con la bolsa de tinta preservada. La familia, y especialmente Mary, tenían talento para la búsqueda de fósiles. Aunque pobre, Mary sabía leer y escribir y aprendió geología y anatomía por sí misma, lo que la convirtió en una cazadora de fósiles mucho más eficaz. Como Lady Harriet Sylvester

En 1824, Mary Anning estaba "tan familiarizada con la ciencia que en el momento en que encuentra algún hueso sabe a qué tribu pertenece". Se convirtió en una autoridad en muchos tipos de fósiles, especialmente coprolitos—estiércol fosilizado.

La imagen de la vida en la antigua Dorset revelada por los fósiles de Anning era la de una costa tropical donde prosperaba una amplia variedad de animales ahora extintos. En 1854, los fósiles de Anning proporcionaron modelos para la primera reconstrucción de tamaño natural de un ictiosaurio, realizada para el parque Crystal Palace de Londres por el escultor Benjamin Waterhouse Hawkins y el paleontólogo Richard Owen. Fue Owen quien acuñó la palabra "dinosaurio", pero Anning fue quien proporcionó el primer vistazo de la riqueza de la vida jurásica.



En 1830, Henry De la Beche pintó esta reconstrucción de la vida en los mares jurásicos alrededor de Dorset basada en los descubrimientos de fósiles de Anning.

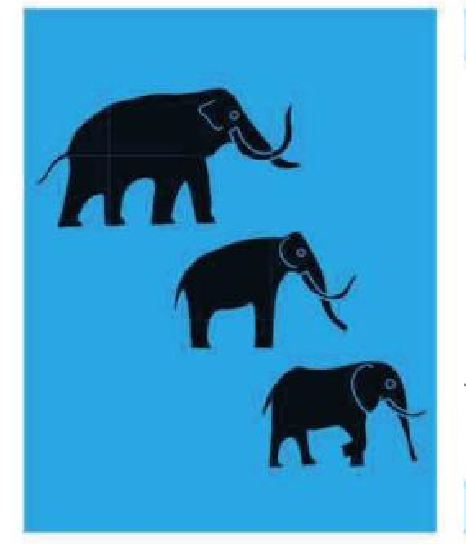


María Anning

Se han escrito varias biografías y novelas sobre la vida de Mary Anning, una coleccionista de fósiles autodidacta. Ella era una de los dos hijos sobrevivientes de 10 nacidos en una familia empobrecida de disidentes religiosos de Dorset que vivía en el pueblo costero de Lyme Regis. La familia se ganaba la vida precariamente recogiendo fósiles para venderlos al creciente número de turistas. Sin embargo, fue Mary quien encontró y vendió sus hallazgos más importantes: fósiles de reptiles del Jurásico que vivieron hace 201–145 millones de años.

Debido a una combinación de su género, posición social humilde y heterodoxia religiosa, Anning recibió poco reconocimiento formal por su trabajo durante su vida, y señaló en una carta: "El mundo me ha tratado con crueldad, me temo que me ha hecho sospechar. de todos." Sin embargo, era ampliamente conocida en los círculos geológicos y varios científicos buscaron su experiencia. Cuando su salud falló,

A Anning se le proporcionó una pequeña pensión anual de alrededor de $ 40 (£ 25) en reconocimiento a su contribución a la ciencia. Murió de cáncer de mama a los 47 años.



LA HERENCIA DE ACUERDO CARACTERÍSTICAS

JEAN-BAPTISTE LAMARCK (1744–1829)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES

c.1495 Leonardo da Vinci sugiere en su cuaderno que los fósiles son reliquias de la vida antigua.

1796 Georges Cuvier demuestra que los huesos fósiles pertenecen a mastodontes extintos.

1799 William Smith muestra la sucesión de fósiles en estratos rocosos de diferentes edades.

DESPUÉS

1858charles darwin introduce su teoría de la evolución por selección natural.

1942 La “síntesis moderna” reconcilia la genética de Gregor Mendel con la selección natural, la paleontología y la ecología de Darwin al tratar de explicar cómo surgen nuevas especies.

2005 Eva Jablonka y Marion Lamb afirman que los cambios no genéticos, ambientales y de comportamiento pueden afectar la evolución.

In 1809, el naturalista francés Jean-Baptiste Lamarck introdujo la primera teoría importante de que la vida en la Tierra ha evolucionado con el tiempo. El ímpetu de su teoría fue el descubrimiento de fósiles de criaturas diferentes a las que existen hoy en día. En 1796, el naturalista francés Georges Cuvier había demostrado que los huesos fosilizados parecidos a los elefantes tenían una anatomía marcadamente diferente de los huesos de los elefantes modernos, y debían provenir de criaturas extintas que ahora se llaman mamuts y mastodontes.

Cuvier explicó las criaturas desaparecidas del pasado como víctimas de catástrofes. Lamarck cuestionó esta idea y argumentó que la vida se había "transmutado" o evolucionado, gradual y continuamente a través del tiempo, desarrollándose desde las formas de vida más simples hasta las más complejas. Sugirió que un cambio en el medio ambiente podría provocar un cambio en las características de un organismo. Esos cambios podrían entonces ser heredados a través de la reproducción. Las características que fueron útiles se desarrollaron aún más; los que no eran útiles podrían desaparecer.



Lo que hace la naturaleza en el transcurso de largos períodos, lo hacemos todos los días cuando de repente cambiar el entorno en el que viven algunas especies se sitúa la planta.
Jean-Baptiste Lamarck



Lamarck creía que las características se adquirían durante la vida de una criatura y se transmitían. Más tarde, Darwin demostró que los cambios ocurren porque las mutaciones en la concepción sobreviven para ser transmitidas a través de la selección natural, y se ridiculizó la idea de “características adquiridas”. Pero recientemente, los científicos han argumentado que el medio ambiente (sustancias químicas, luz, temperatura y alimentos) de hecho puede alterar los genes y su expresión.

Ver también: William Smith 115 · María Anning 116-17 · Carlos Darwin 142–49 · Gregor Mendel 166–71 · Thomas Caza Morgan 224-25 · Miguel Syvanen 318–19



CADA QUÍMICO EL COMPUESTO TIENE DOS PARTES

JÖNS JAKOB BERZELIUS (1779–1848)

EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES

1704 Isaac Newton sugiere que los átomos están unidos por alguna fuerza.

1800 Alessandro Volta muestra que colocar dos metales diferentes uno al lado del otro puede producir electricidad, y así crea la primera batería.

1807 Humphry Davy descubre sodio y otros metales elementos mediante la división de sales con electrólisis.

DESPUÉS

1857-1858 agosto kekulé y otros desarrollan la idea de valencia: el número de enlaces que puede formar un átomo.

1916 El químico estadounidense Gilbert Lewis propone la idea del enlace covalente en el que se comparten los electrones, mientras que el físico alemán Walther Kossel sugiere la idea de los enlaces iónicos.

T El faro de una generación de químicos inspirado en Alejandro Volta creó la batería, el sueco Jöns Jakob Berzelius llevó a cabo una serie de experimentos para observar el efecto de la electricidad en los productos químicos. Desarrolló una teoría llamada dualismo electroquímico, publicada en 1819, que proponía que los compuestos se crean por la unión de elementos con cargas eléctricas opuestas.



El hábito de una opinión conduce a menudo a la convicción completa de su verdad, y nos hace incapaces de aceptar las pruebas en su contra.

Jöns Jakob Berzelius

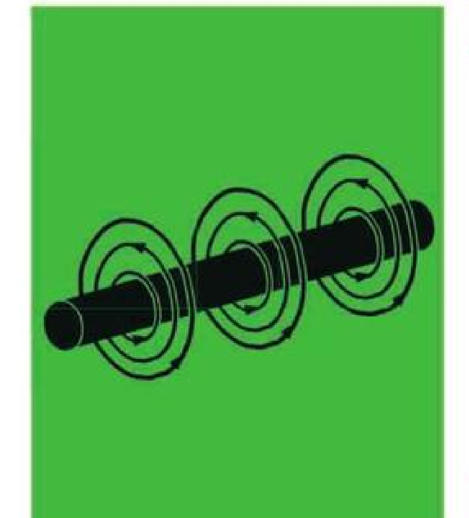


En 1803, Berzelius se asoció con el dueño de una mina para hacer una pila voltaica y ver cómo la electricidad divide las sales. Los metales alcalinos y alcalinotérreos migraron al polo negativo de la pila, mientras que el oxígeno, los ácidos y las sustancias oxidadas migraron al polo positivo.

Llegó a la conclusión de que los compuestos de sal combinan un óxido básico, que tiene carga positiva, y un óxido ácido, que tiene carga negativa.

Berzelius desarrolló su teoría dualista para sugerir que los compuestos están unidos por la atracción de cargas eléctricas opuestas entre sus partes constituyentes. Aunque más tarde se demostró que era incorrecta, la teoría desencadenó más investigaciones sobre los enlaces químicos. En 1916, se descubrió que los enlaces eléctricos ocurren como enlaces "iónicos", en los que los átomos pierden o ganan electrones para convertirse en átomos cargados mutuamente atractivos, o iones. De hecho, esta es solo una de las varias formas en que se unen los átomos en un compuesto; otra es el enlace "covalente", en el que los electrones se comparten entre los átomos.

Ver también: Isaac Newton 62–69 · Alejandro Volta 90–95 · José Proust 105 · Humphry Davy 114 · Agosto Kekulé 160–65 · Linus Pauling 254-59



EL ELÉCTRICO EL CONFLICTO NO ES RESTRINGIDO A LA CABLE CONDUCTOR

HANS CHRISTIAN ØRSTED (1777–1851)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1600 William Gilbert realiza los primeros experimentos científicos sobre electricidad y magnetismo.

1800 Alessandro Volta crea la primera batería eléctrica.

DESPUÉS
1820 André-Marie Ampère desarrolla una teoría matemática del electromagnetismo.

1821 Michael Faraday es capaz de mostrar la rotación electromagnética en acción al crear el primer motor eléctrico.

1831 Faraday y el científico estadounidense Joseph Henry descubren de forma independiente la inducción electromagnética; Faraday lo usa en el primer generador para convertir el movimiento en electricidad.

1864 James Clerk Maxwell formula un conjunto de ecuaciones para describir las ondas electromagnéticas, incluidas las ondas de luz.

Ta búsqueda para descubrir una unidad subyacente a todas las fuerzas y la materia es tan antigua como la ciencia misma, pero el primer gran avance se produjo en 1820, cuando el filósofo danés Hans Christian Ørsted encontró un vínculo entre el magnetismo y la electricidad. El vínculo le había sido sugerido por el químico y físico alemán Johann Wilhelm Ritter, a quien había conocido en 1801. Ya influenciado por el filósofo Immanuel Kant idea de que hay una unidad en la naturaleza, Ørsted ahora investigó la posibilidad en serio.



Parece que el conflicto eléctrico no se limita a la alambre conductor, pero que tiene una esfera bastante extendida de actividad a su alrededor.
Hans Christian Ørsted



Descubrimiento casual
Dando una conferencia en la Universidad de Copenhague, Ørsted quería mostrar a sus alumnos cómo la corriente eléctrica de una pila voltaica (la batería inventada por Alessandro Volta en 1800) puede calentar un cable y hacerlo brillar. Se dio cuenta de que la aguja de una brújula que estaba cerca del cable se movía cada vez que se encendía la corriente. Esta fue la primera prueba de un vínculo entre la electricidad y el magnetismo. Un estudio posterior lo convenció de que la corriente producía un campo magnético circular a medida que fluía a través del cable.

El descubrimiento de Ørsted llevó rápidamente a científicos de toda Europa a investigar el electromagnetismo. Más tarde ese año, el físico francés André-Marie Ampère formuló una teoría matemática para el nuevo fenómeno y, en 1821, Michael Faraday demostró que la fuerza electromagnética podía convertir energía eléctrica en energía mecánica.

Ver también: William Gilbert 44 Alejandro Volta 90–95 miguel faraday 121
James Clerk Maxwell 180–85



UN DÍA, SEÑOR, USTED PUEDE IMPUESTARLO

MICHAEL FARADAY (1791–1867)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES

1800 Alessandro Volta inventa la primera batería eléctrica.

1820 Hans Christian Ørsted descubre que la electricidad crea un campo magnético.

1820 André-Marie Ampère formula una teoría matemática del electromagnetismo.

DESPUÉS

1830 Joseph Henry crea el primer electroimán potente.

1845 Faraday demuestra el vínculo entre la luz y el electromagnetismo.

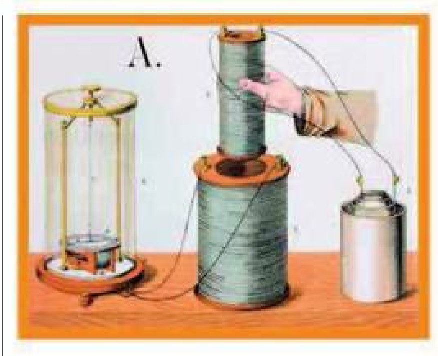
1878 Diseñada por Sigmund Schuckert, la primera central eléctrica impulsada por vapor genera electricidad para el Palacio de Linderhof en Baviera, Alemania.

1882 El inventor estadounidense Thomas Edison construye una central eléctrica para alimentar el alumbrado eléctrico en Manhattan, Ciudad de Nueva York.

Bel descubrimiento del científico británico Michael Faraday de los principios tanto del motor eléctrico como del generador eléctrico allanaron el camino para la revolución eléctrica que transformaría el mundo moderno, trayendo de todo, desde bombillas hasta telecomunicaciones. El mismo Faraday previó el valor de

sus descubrimientos—y los ingresos fiscales que podrían generar para el gobierno.

En 1821, unos meses después de enterarse del descubrimiento de Hans Christian Ørsted del vínculo entre la electricidad y el magnetismo, Faraday demostró cómo un imán se mueve alrededor de un cable eléctrico y cómo un cable eléctrico se mueve alrededor de un imán. El cable eléctrico produce un campo magnético circular a su alrededor, que genera una fuerza tangencial sobre el imán, produciendo un movimiento circular. Este es el principio detrás del motor eléctrico. Se establece un movimiento giratorio alternando la dirección de la corriente, que alterna la dirección del campo magnético en el cable.



En el aparato de Faraday para mostrar la inducción electromagnética, una corriente fluye a través de la bobina magnética pequeña, que entra y sale de la bobina grande, induciendo una corriente en ella.

Generar electricidad

Diez años más tarde, Faraday hizo un descubrimiento aún más importante: un campo magnético en movimiento puede crear o “inducir” una corriente eléctrica. Este descubrimiento, que también fue realizado de forma independiente por el físico estadounidense Joseph Henry por la misma época, es la base para generar toda la electricidad. La inducción electromagnética convierte la energía cinética de una turbina giratoria en corriente eléctrica.

Ver también: Alessandro Volta 90–95 Hans Christian Ørsted 120
James Clerk Maxwell 180–85



EL CALOR PENETRA CADA SUSTANCIA EN EL UNIVERSO

JOSÉ FOURIER (1777–1831)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1761 Joseph Black descubre el calor latente: el calor absorbido por el hielo para derretirse y el agua para hervir sin cambiar la temperatura. También estudia el calor específico que requieren las sustancias para elevar su temperatura en cierta cantidad.

1783 Antoine Lavoisier y Pierre-Simon Laplace miden el calor latente y el calor específico.

DESPUÉS
1824 Al desarrollar la primera teoría de los motores térmicos, que convierten la energía térmica en energía mecánica, Nicolas Sadi Carnot sienta las bases de la teoría de la termodinámica.

1834Émile Clapeyron muestra que la energía siempre debe volverse más difusa, formulación de la segunda ley de la termodinámica.



T Hoy en día, una de las leyes más fundamentales de la fisica es esa energia no se crea ni se destruye, sino que sólo cambia de una forma a otra o se mueve de un lugar a otro. El matemático francés Joseph Fourier fue un pionero en el estudio del calor y cómo el calor se mueve de lugares cálidos a lugares fríos.

Fourier estaba interesado tanto en cómo se difundía el calor a través de los sólidos por conducción como en cómo las cosas se enfriaban al perder calor. Su compatriota Jean-Baptiste Biot había imaginado la propagación del calor como una “acción a distancia”, en la que se propaga saltando de lugares cálidos a lugares fríos. Biot representó el flujo de calor en un sólido como una serie de cortes, lo que permitió estudiarlo con ecuaciones convencionales que muestran el calor saltando de una rebanada a la siguiente.

Gradientes de temperatura

Fourier miró el flujo de calor de una manera completamente diferente. Se centró en los gradientes de temperatura, gradaciones continuas entre lugares cálidos y fríos. Estos no se podían cuantificar con ecuaciones convencionales, por lo que ideó nuevas técnicas matemáticas.

Ver también: Isaac Newton 62–69 · José negro 76–77 · Antonio Lavoisier 84 · Carlos Keeling 294–95



Las matemáticas comparan los fenómenos más diversos y descubren las analogías secretas que los une.
José Fourier

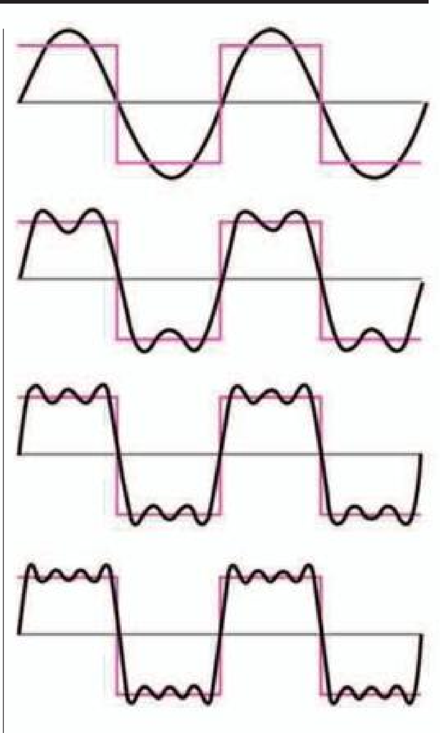


Fourier se centró en la idea de las ondas y en encontrar una manera de representarlas matemáticamente. Vio que cada movimiento ondulatorio, que es lo que es un gradiente de temperatura, puede aproximarse matemáticamente sumando ondas más simples, cualquiera que sea la forma de la onda que se represente. Las ondas más simples que deben sumarse son los senos y los cosenos, derivados de la trigonometría, y pueden escribirse matemáticamente como una serie.

Cada una de estas ondas individuales se mueve uniformemente desde un pico hasta un valle. Agregar más y más de estas ondas simples juntas produce una complejidad creciente que puede aproximarse a cualquier otro tipo de onda. Estas series infinitas ahora se llaman series de Fourier.

Fourier publicó su idea en 1807, pero suscitó críticas, y no fue hasta 1822 que su trabajo fue finalmente aceptado. Continuando con su estudio del calor, en 1824, Fourier examinó la diferencia entre el calor que la Tierra obtiene del Sol y el calor que pierde hacia el espacio. Se dio cuenta de que la razón por la cual la Tierra es agradablemente cálida, considerando lo lejos que está del Sol, es porque los gases en su atmósfera atrapan el calor y evitan que se irradie de vuelta al espacio, el fenómeno que ahora se llama efecto invernadero.

Hoy en día, el análisis de Fourier se aplica no solo a la transferencia de calor, sino también a una serie de problemas en la vanguardia de la ciencia, que van desde la acústica, la ingeniería eléctrica y la óptica hasta la mecánica cuántica.



Una serie de Fourier puede aproximarse a una onda de cualquier forma, incluso una cuadrada (que se muestra aquí en rosa). Agregar más ondas sinusoidales a la serie da una aproximación cada vez más cercana a la onda cuadrada. Las primeras cuatro aproximaciones de la serie (que se muestran aquí en negro) incorporan cada una una onda sinusoidal adicional.

José Fourier



Hijo de un sastre, Joseph Fourier nació en Auxerre, Francia. Quedó huérfano a los 10 años, fue llevado a un convento local antes de ir a una escuela militar, donde se destacó en matemáticas. Francia estaba en medio de la revolución, y durante el Terror de 1794, fue encarcelado brevemente después de pelearse con sus compañeros.

revolucionarios

Después de la Revolución, Fourier acompañó a Napoleón en una expedición a Egipto en 1798. Fue nombrado gobernador de Egipto y puesto a cargo del estudio de las antiguas reliquias egipcias. regresando a Francia en 1801, Fourier fue nombrado gobernador de Isère en los Alpes. Entre tareas administrativas, supervisando la construcción de carreteras y la planificación del drenaje, publicó un estudio innovador sobre el antiguo Egipto y comenzó sus estudios sobre el calor. Murió en 1831 después de tropezar y caer por un tramo de escaleras.

Trabajos clave

1807 *Sobre la Propagación del Calor en los Cuerpos Sólidos*
1822 *La teoría analítica del calor*



LA PRODUCCIÓN ARTIFICIAL DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS DE INORGÁNICO SUSTANCIAS

FRIEDRICH WÖHLER (1800–1882)

EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES

1770 Antoine Lavoisier y otros muestran que el agua y la sal pueden volver a su estado anterior después del calentamiento, pero el azúcar o la madera no.

1807Jöns Jakob Berzelius sugiere un principio fundamental Diferencia entre productos químicos orgánicos e inorgánicos.

DESPUÉS

1852 El químico británico Edward Franklin sugiere la idea de valencia, la capacidad de los átomos para combinarse con otros átomos.

1858químico británico Archibald Couper sugiere la idea de enlaces entre átomos, explicando cómo funciona la valencia.

1858 Couper y August Kekulé proponen que las sustancias químicas orgánicas están formadas por cadenas de átomos de carbono enlazados con ramificaciones laterales de otros átomos.

In 1807, el químico sueco Jöns Jakob Berzelius sugirió que existía una diferencia fundamental entre las sustancias químicas involucradas en los seres vivos y todas las demás sustancias químicas. Estas sustancias químicas "orgánicas" únicas, argumentó Berzelius, solo podían ser ensambladas por los mismos seres vivos y, una vez descompuestas, no podían rehacerse artificialmente. Su idea se ajustaba a la teoría prevaleciente conocida como “vitalismo”, que sostenía que la vida era especial y que los seres vivos eran dotado de una "fuerza vital" más allá de la comprensión de los químicos. Por eso fue una sorpresa cuando los experimentos pioneros de un químico alemán llamado Friedrich Wöhler demostraron que los productos químicos orgánicos no son únicos en absoluto, sino que se comportan de acuerdo con las mismas reglas básicas que todos los productos químicos.

Ahora sabemos que los productos químicos orgánicos comprenden una multitud de moléculas basadas en el elemento carbono. Estas moléculas a base de carbono son, de hecho, componentes esenciales de la vida, pero muchas pueden sintetizarse a partir de productos químicos inorgánicos, como descubrió Wöhler.

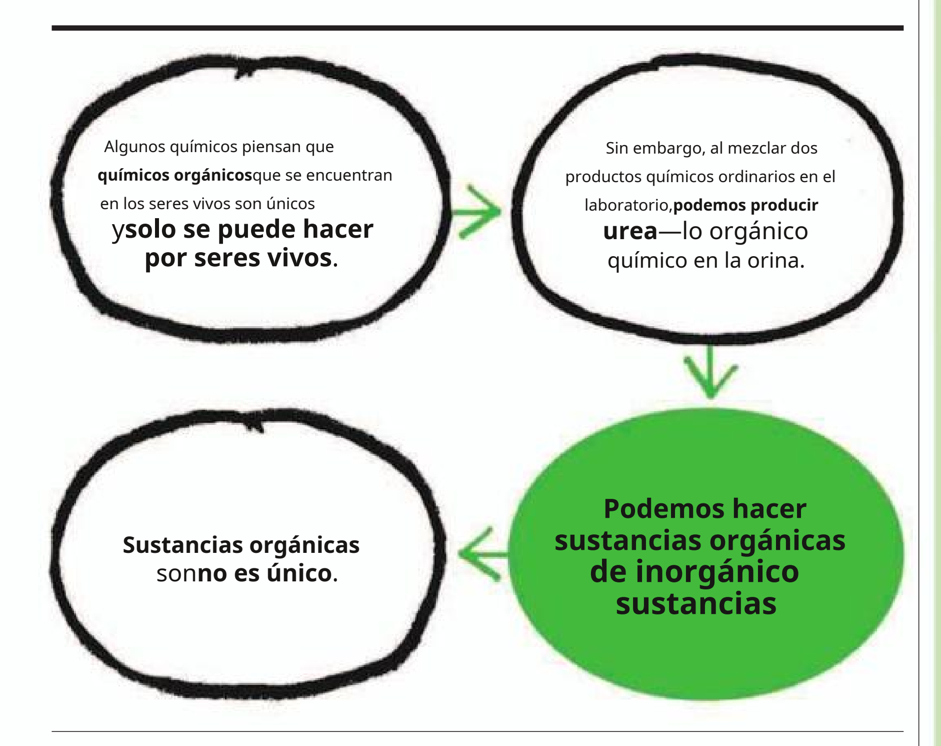


Ampliamente utilizado en fertilizantes., la urea es rica en nitrógeno, que es esencial para el crecimiento de las plantas. La urea sintética, fabricada por primera vez por Wöhler, es ahora una materia prima clave en la industria química.

Rivales de química

El gran avance de Wöhler se produjo debido a una rivalidad científica. A principios de la década de 1820, Wöhler y su compañero químico Justus von Liebig idearon análisis químicos idénticos para lo que parecían ser dos sustancias muy diferentes: fulminato de plata, que es explosivo, y cianato de plata, que no lo es. Ambos hombres asumieron que el otro tenía los resultados equivocados, pero después correspondiente, encontraron que ambos tenían razón. Este grupo de compuestos llevó a los químicos a darse cuenta de que las sustancias se definen no solo

Ver también: Antoine Lavoisier 84 · Juan Dalton 112–13 · Jöns Jakob Berzelius 119 · León Baekeland 140–41 Agosto Kekulé 160–65



por el número y tipo de átomos en la molécula sino también por la disposición de los átomos. La misma fórmula puede aplicarse a diferentes estructuras con diferentes propiedades: estas diferentes estructuras fueron posteriormente nombradas isómeros por Berzelius.

Wöhler y Liebig llegaron a forjar una brillante asociación, pero fue solo Wöhler quien, en 1828, tropezó con la verdad sobre los productos químicos orgánicos.

La síntesis de Wöhler

Wöhler estaba mezclando cianato de plata con cloruro de amonio, esperando obtener cianato de amonio. En cambio, obtuvo una sustancia blanca que tenía propiedades diferentes al cianato de amonio. El mismo polvo apareció cuando mezcló cianato de plomo con hidróxido de amonio. El análisis mostró que el polvo blanco era urea, una sustancia orgánica que es un componente clave de la orina y tiene la misma fórmula química que el cianato de amonio. De acuerdo con la teoría de Berzelius, solo podía ser producido por seres vivos; sin embargo, Wöhler lo había sintetizado a partir de sustancias químicas inorgánicas. Wöhler le escribió a Berzelius: “Debo decirle que puedo hacer urea sin el uso de riñones”, explicando que la urea era de hecho un isómero de cianato de amonio.

La importancia del descubrimiento de Wöhler tardó muchos años en asimilarse. Aun así, allanó el camino para el desarrollo de la química orgánica moderna, que no solo revela cómo todos los seres vivos dependen de los procesos químicos, sino que también permite la síntesis artificial de sustancias químicas orgánicas valiosas en una escala comercial. En 1907, se produjo un polímero sintético llamado baquelita a partir de dos de estos productos químicos y marcó el comienzo de la "Era de los plásticos" que dio forma al mundo moderno.



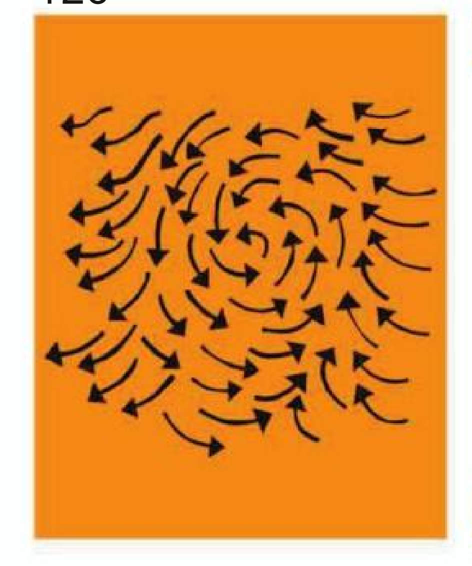
Friedrich Wohler

Nacido en Eschersheim, cerca de Frankfurt en Alemania, Friedrich Wöhler se formó en obstetricia en la Universidad de Heidelberg. Pero la química era su pasión y, en 1823, se fue a estudiar con Jöns Jakob Berzelius a Estocolmo. A su regreso a Alemania, se embarcó en una notable y variada carrera en investigación e innovación química.

Además de la primera síntesis artificial de una sustancia orgánica, los muchos descubrimientos de Wöhler, a menudo realizados con Justus von Liebig, incluyeron aluminio, berilio, itrio, titanio y silicio. También ayudó a desarrollar la idea de los “radicales”, grupos moleculares básicos a partir de los cuales se construyen otras sustancias. Aunque luego fue refutada, esta teoría allanó el camino para la comprensión actual de cómo las moléculas se ensamblan. En años posteriores, Wöhler se convirtió en una autoridad en la química de los meteoritos y ayudó a establecer una fábrica para purificar el níquel.

Trabajos clave

1830 *Resumen de Química Inorgánica*
1840 *Resumen de Química Orgánica*



VIENTOS NUNCA GOLPE EN UN LÍNEA RECTA

GASPARD-GUSTAVE DE CORIOLIS (1792–1843)

EN CONTEXTO

RAMA
Meteorología

ANTES

1684 Isaac Newton introduce la idea de la fuerza centrípeta, afirmando que cualquier movimiento en una trayectoria curva debe ser el resultado de una fuerza que actúa sobre él.

1735 George Hadley sugiere que los vientos alisios soplan hacia el ecuador porque la rotación de la Tierra desvía las corrientes de aire.

DESPUÉS

1851Léon Foucault muestra cómo la rotación de la Tierra desvía la oscilación de un péndulo.

1856 El meteorólogo estadounidense William Ferrel muestra que los vientos soplan paralelos a las isobaras, líneas que conectan puntos de igual presión atmosférica.

1857 El meteorólogo holandés Christophorus Buys Ballot formula una regla que establece que si el viento sopla sobre su espalda, hay un área de baja presión a su izquierda.

Aír y las corrientes oceánicas no fluyen en línea recta. A medida que avanzan las corrientes, se desvían hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el sur. En la década de 1830, el científico francés Gaspard-Gustave de Coriolis descubrió el principio detrás de este efecto, ahora conocido como efecto Coriolis.

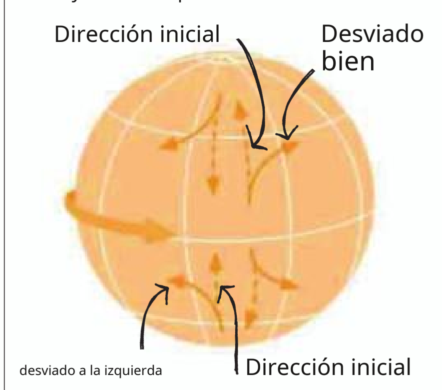
desviado por rotación

Coriolis obtuvo sus ideas al estudiar ruedas hidráulicas giratorias, pero los meteorólogos luego se dieron cuenta de que las ideas se aplican a la forma en que se mueven los vientos y las corrientes oceánicas.

Coriolis mostró cómo, cuando un objeto se mueve a través de una superficie giratoria, su impulso parece llevarlo en una trayectoria curva. Imagina lanzar una pelota desde el centro de un tiovivo giratorio. La bola parece curvarse, aunque para cualquiera que esté mirando desde fuera del tiovivo, en realidad se está moviendo en línea recta.

Los vientos en la Tierra giratoria se desvían de la misma manera. Sin el efecto Coriolis, los vientos

la rotación de la tierrahace que los vientos se desvíen hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el sur.



simplemente sople directamente desde las áreas de alta presión a las áreas de baja presión. La dirección del viento es, de hecho, un equilibrio entre la atracción de baja presión y la desviación de Coriolis. Esta es principalmente la razón por la que los vientos giran en sentido contrario a las agujas del reloj hacia las zonas de baja presión en el hemisferio norte y en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio sur. De manera similar, las corrientes superficiales del océano circulan en

bucles o giros gigantes, en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte y en el sentido contrario a las agujas del reloj en el sur.

Ver también: Jorge Hadley 80 · Roberto FitzRoy 150–55



EN EL COLOR LUZ DE LA

ESTRELLAS BINARIAS

CRISTIANO DOPPLER (1803–1853)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1677 Ole Rømer estima la velocidad de la luz estudiando las lunas de Júpiter.

DESPUÉS
década de 1840 El meteorólogo holandés Christophorus Buys Ballot aplica el desplazamiento Doppler a las ondas sonoras, al igual que el físico francés Hippolyte Fizeau a las ondas electromagnéticas.

1868 El astrónomo británico William Huggins usa el corrimiento al rojo para encontrar la velocidad de una estrella.

1929 Edwin Hubble relaciona el corrimiento hacia el rojo de las galaxias con su distancia a la Tierra, mostrando la expansión del universo.

1988 Se detecta el primer planeta extrasolar mediante el desplazamiento Doppler de la luz de la estrella que orbita: la estrella parece "tambalearse" cuando la atracción gravitacional del planeta interrumpe su rotación.

T El color de la luz depende de su frecuencia, que es el número de ondas por segundo. Si algo que se mueve hacia nosotros está emitiendo ondas, la segunda onda tendrá una distancia más corta para viajar que la primera onda, por lo que llegará antes que si la fuente estuviera estacionaria. Así, la frecuencia de las ondas aumenta si la fuente y el receptor se acercan, y disminuye si se alejan. Este efecto se aplica a todos los tipos de ondas, incluido el sonido, y es responsable del cambio de tono de una sirena cuando pasa una ambulancia.

A simple vista, la mayoría de las estrellas parecen ser blancas, pero a través de un telescopio se puede ver que muchas son rojas, amarillas o azules. En 1842, un físico austriaco llamado Christian Doppler sugirió que el color rojo de algunas estrellas se debe a que se están alejando de la Tierra, lo que cambiaría su luz a longitudes de onda más largas. Dado que la longitud de onda más larga de la luz visible es el rojo, esto se conoció como corrimiento al rojo (como se ilustra en la página 241).

Ahora se sabe que los colores de las estrellas se deben principalmente a su temperatura (cuanto más caliente es la estrella, más azul parece), pero el movimiento de algunas estrellas se puede detectar mediante desplazamientos Doppler. Las estrellas binarias son pares de estrellas que se orbitan entre sí. Su rotación provoca un corrimiento al rojo y un corrimiento al azul alternados en la luz que emiten.



Los cielos presentaban un aspecto extraordinario, pues todas las estrellas directamente detrás de mí ahora eran de color rojo oscuro, mientras que los que estaban directamente delante eran violetas. Rubíes yacían detrás de mí, amatistas delante de mí.

Olaf Stapledon
De su novela, *Hacedor de estrellas* (1937)



Ver también: Viejo Romer 58–59 · Edwin Hubble 236–41 · Geoffrey Marcy 327



EL GLACIAR ERA DE DIOS GRAN ARADO

LOUIS AGASSIZ (1807–1873)

EN CONTEXTO

RAMA
Ciencia de la Tierra

ANTES
1824 El noruego Jens Esmark sugiere que los glaciares son responsables de la creación de fiordos, erráticos y morrenas.

1830 Charles Lyell argumenta que las leyes de la naturaleza siempre han sido las mismas, por lo que las claves del pasado se encuentran en el presente.

1835 El geólogo suizo Jean de Charpentier argumenta que los erráticos cerca del lago de Ginebra fueron transportados por hielo desde el área del Mont Blanc en una "glaciación alpina".

DESPUÉS
1875 El científico escocés James Croll argumenta que las variaciones en la órbita de la Tierra podrían explicar los cambios de temperatura que provocan una edad de hielo.

1938 El físico serbio Milutin Milankovic relaciona los cambios en el clima con cambios periódicos en la órbita de la Tierra.

Glaciares en retiradadejar**características particulares**detrás de ellos en el paisaje

Estas característicasse encuentran en zonas donde**no hay glaciares**.

debe haber habido**glaciares**en estos lugares algún tiempo**en el pasado**.

W los glaciares de gallina barren a través de un paisaje, dejan firma características detrás de ellos. Los glaciares pueden erosionar las rocas hasta aplanarlas o dejarlas suavemente redondeadas, a menudo con estrías (marcas de arañazos) que muestran la dirección en la que se movió el hielo. También dejan tras de sí erráticos, rocas que el hielo ha llevado largas distancias. Estos generalmente se pueden identificar porque su composición es diferente de las rocas sobre las que se encuentran. Muchos erráticos son demasiado grandes para haber sido movidos por ríos, que es la forma habitual en que las rocas se transportan a través de un paisaje. Una roca de un tipo diferente de las rocas que la rodean, por lo tanto, es un signo revelador de que alguna vez pasó un glaciar. Otro es la presencia de morrenas en los valles. Estos son montones de rocas que se apartaron cuando el glaciar estaba creciendo y se quedaron atrás cuando se retiró.

enigma de las rocas

Los geólogos del siglo XIX reconocieron características tales como estrías, irregularidades y morrenas como evidencia de glaciares. Lo que ellos

Ver también: Guillermo Smith 115 · Alfred Wegener 222-23

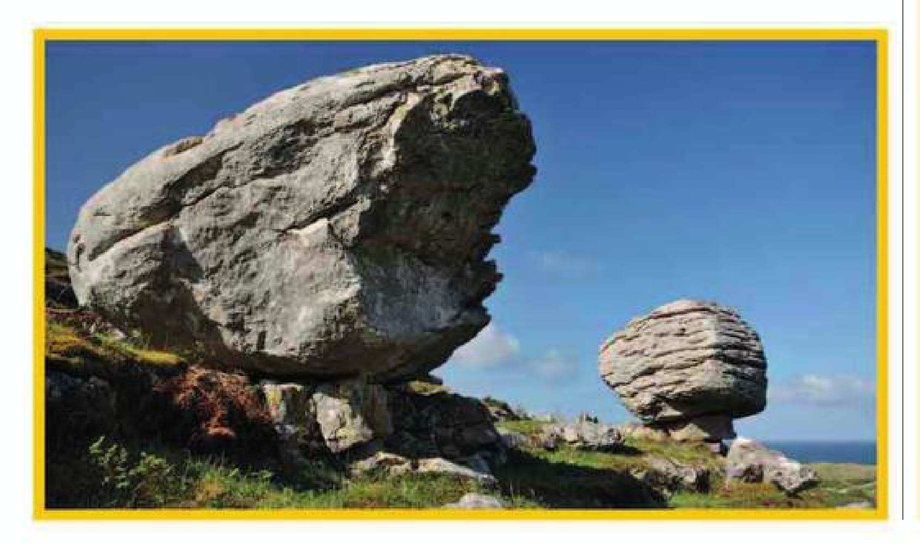
No podía explicar por qué tales características se encontraron en áreas de la Tierra que no tenían glaciares. Una teoría argumentaba que las rocas se movían por inundaciones repetidas. Las inundaciones podrían explicar la "deriva de cantos rodados" (las arenas, arcillas y gravas que incluían cantos rodados erráticos) que se superponen a gran parte del lecho rocoso de Europa. El material podría haber sido depositado cuando se retiró la última inundación. Los erráticos más grandes podrían haber quedado atrapados en los icebergs, que depositaron las rocas cuando se derritieron. Pero la teoría no podía explicar todas las características.

La edad de hielo revelada

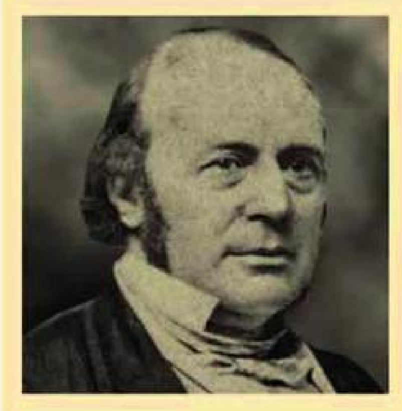
Durante la década de 1830, el geólogo suizo Louis Agassiz pasó varias vacaciones en los Alpes europeos estudiando los glaciares y sus valles. Se dio cuenta de que las características glaciales en todas partes, no solo en los Alpes, podrían explicarse si la Tierra alguna vez estuvo cubierta por mucho más hielo que en la actualidad. Los glaciares de hoy deben ser los restos de capas de hielo que alguna vez cubrieron la mayor parte del globo. Pero antes de publicar su teoría Agassiz quería convencer a los demás. Había conocido a William Buckland, un destacado geólogo inglés, mientras excavaba peces fósiles en las rocas Old Red Sandstone de los Alpes. Cuando Agassiz le mostró la evidencia de su teoría de una edad de hielo, Buckland se convenció y en 1840 los dos hombres recorrieron Escocia para buscar evidencia de glaciación allí. Después de la gira, Agassiz presentó sus ideas a la Sociedad Geológica de Londres. Aunque lo había convencido

Buckland y Charles Lyell, dos de los principales geólogos de la época, los demás miembros de la sociedad no quedaron impresionados. Una glaciación casi global no parecía más probable que una inundación global.

Sin embargo, la idea de las glaciaciones fue ganando aceptación gradualmente, y hoy en día existen pruebas de muchos campos diferentes de la geología de que el hielo ha cubierto gran parte de la superficie de la Tierra muchas veces en el pasado.



Agassiz fue el primero para sugerir que los grandes erráticos, como estos en el valle de Caher de Irlanda, fueron depositados por antiguos glaciares.



Luis Agassiz

Nacido en un pequeño pueblo suizo en 1807, Louis Agassiz estudió para ser médico, pero se convirtió en profesor de historia natural en la Universidad de Neuchâtel. Su primer trabajo científico, bajo la dirección del naturalista francés Georges Cuvier, involucró la clasificación de peces de agua dulce de Brasil, y Agassiz pasó a llevar a cabo un extenso trabajo sobre peces fosilizados. A fines de la década de 1830, sus intereses se extendieron a los glaciares y la clasificación zoológica. En 1847, tomó un puesto en la Universidad de Harvard en los Estados Unidos.

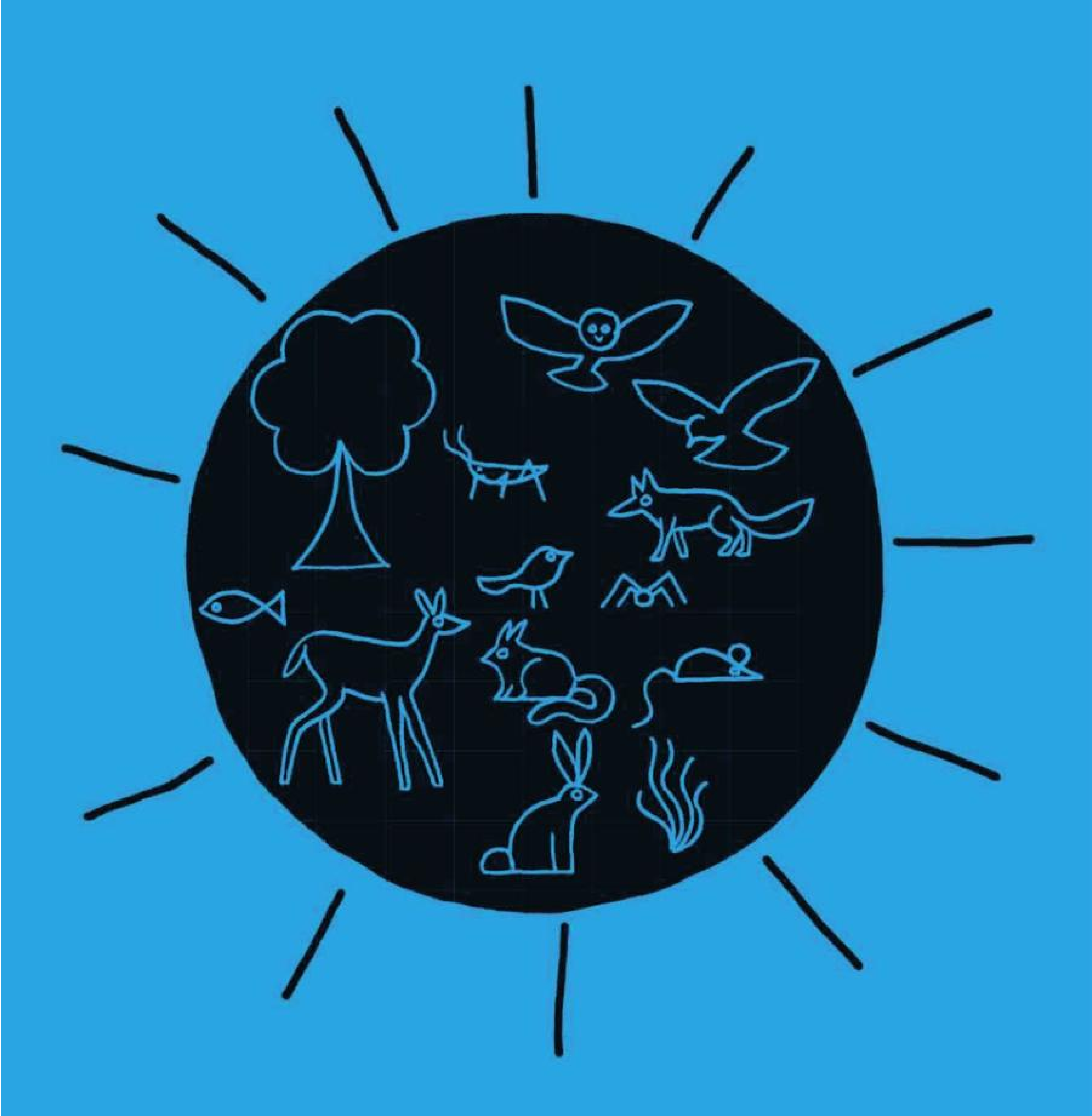
Agassiz nunca aceptó La teoría de la evolución de Darwin, que creía que las especies eran “ideas en la mente de Dios” y que todas las especies habían sido creadas para las regiones que habitaban. Abogó por el "poligenismo", una creencia de que las diferentes razas humanas no compartían un ancestro común, sino que Dios las creó por separado. En los últimos años, su reputación se ha visto empañada por su aparente defensa de las ideas racistas.

Trabajos clave

1840 *Estudio sobre Glaciares*
1842-1846 *nomenclador zoológico*

NATURALEZA
PUEDE SER REPRESENTADO
COMO UN GRAN
ENTERO

ALEJANDRO VON HUMBOLDT (1769–1859)



EN CONTEXTO

RAMA
BIOLOGÍA

ANTES
Siglo V-IVantes de Cristo Los escritores griegos antiguos observan la red de interrelaciones entre las plantas, los animales y su entorno.

DESPUÉS
1866 Ernst Haeckel acuña la palabra “ecología”.

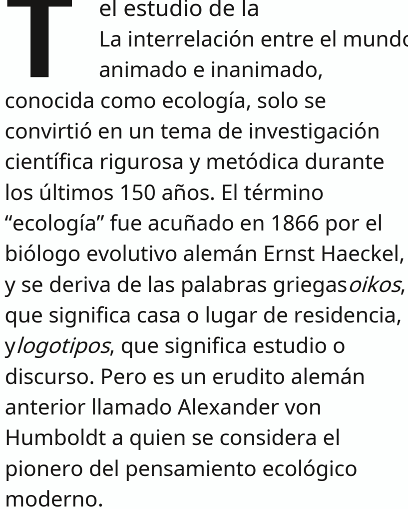
1895 Calentamiento de Eugenio publica el primer libro de curso universitario sobre ecología.

1935 Alfred Tansley acuña la palabra “ecosistema”.

1962 Rachel Carson advierte sobre los peligros de los pesticidas en *Primavera silenciosa*.

1969 Se establecen Amigos de la Tierra y Greenpeace.

1972 La hipótesis de Gaia de James Lovelock presenta a la Tierra como un solo organismo.



T el estudio de la La interrelación entre el mundo animado e inanimado, conocida como ecología, solo se convirtió en un tema de investigación científica rigurosa y metódica durante los últimos 150 años. El término “ecología” fue acuñado en 1866 por el biólogo evolutivo alemán Ernst Haeckel, y se deriva de las palabras griegas*oikos*, que significa casa o lugar de residencia, y*logotipos*, que significa estudio o discurso. Pero es un erudito alemán anterior llamado Alexander von Humboldt a quien se considera el pionero del pensamiento ecológico moderno.

A través de extensas expediciones y escritos, Humboldt promovió un nuevo enfoque de la ciencia. Trató de comprender la naturaleza como un todo unificado, interrelacionando todas las ciencias físicas y empleando el equipo científico más moderno, la observación exhaustiva y el análisis meticuloso de los datos a una escala sin precedentes.

los dientes del cocodrilo

Aunque el enfoque holístico de Humboldt era nuevo, el concepto de ecología se desarrolló a partir de las primeras investigaciones de la historia natural.



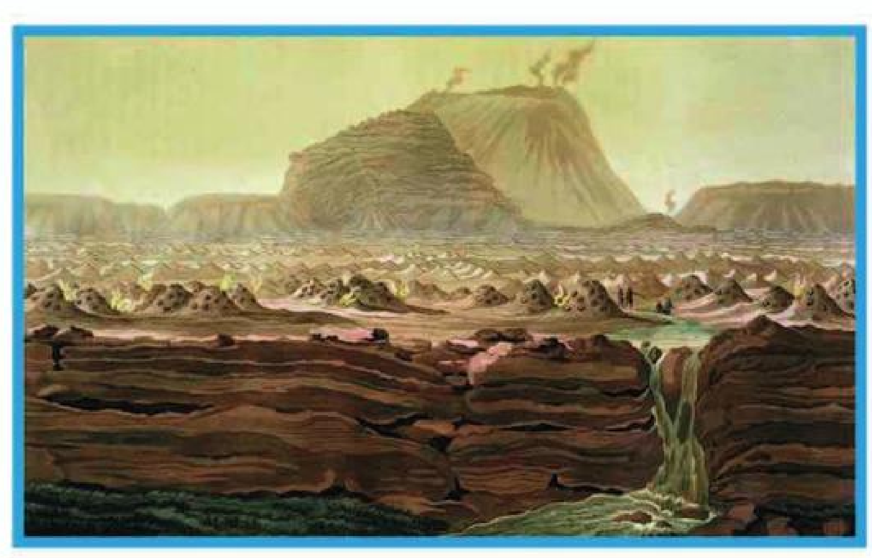
El principal impulso que me dirigía era la esfuerzo serio para comprender los fenómenos de objetos físicos en su conexión general, y representar la naturaleza como un gran todo, movido y animado por fuerzas internas.

Alejandro de Humboldt



por escritores griegos antiguos, como Heródoto en el siglo Vantes de Cristo. En uno de los primeros relatos de interdependencia, técnicamente conocido como mutualismo, describe cocodrilos en el río Nilo en Egipto que abren la boca para permitir que las aves se limpien los dientes.

Un siglo después, las observaciones del filósofo griego Aristóteles y su alumno Teofrasto sobre la migración, la distribución y el comportamiento de las especies proporcionaron una versión temprana del concepto de nicho ecológico: el lugar particular en la naturaleza que da forma y es moldeado a la manera de una especie. de vida. Theophrastus estudió y escribió extensamente sobre plantas, dándose cuenta de la importancia del clima y los suelos para su crecimiento y distribución. Sus ideas influyeron en la filosofía natural durante los siguientes 2000 años.



equipo de Humboldtescaló el volcán Jorullo de México en 1803, solo 44 años después de su aparición. Humboldt vinculó la geología con la meteorología y la biología al estudiar dónde vivían las diferentes plantas.

Ver también: Jean-Baptiste Lamarck 118 · Carlos Darwin 142–49 · james lovelock 315

Las fuerzas unificadoras de la naturaleza

El enfoque de Humboldt sobre la naturaleza siguió la tradición romántica de finales del siglo XVIII que reaccionó al racionalismo insistiendo en el valor de los sentidos, la observación y la experiencia para comprender el mundo como un todo. Al igual que sus contemporáneos, los poetas Johann Wolfgang von Goethe y Friedrich Schiller, Humboldt promovió la idea de la unidad (o *gestalt* en alemán) de la naturaleza—y de la filosofía natural y las humanidades. Sus estudios abarcaron desde anatomía y astronomía hasta mineralogía y botánica, comercio y lingüística, y le proporcionaron la amplitud de conocimientos necesaria para su exploración del mundo natural más allá de los confines de Europa.

Como explicó Humboldt, “La vista de plantas exóticas, incluso de especímenes secos en un herbario, encendió mi imaginación y anhelaba ver la vegetación tropical en los países del sur con mis propios ojos”.
Su exploración de cinco años de América Latina con el botánico francés Aimé Bonpland fue su expedición más importante. Partiendo en junio de 1799, declaró: “Coleccionaré plantas y fósiles, y haré observaciones astronómicas con los mejores instrumentos. Sin embargo, este no es el objetivo principal de mi viaje. Me esforzaré por descubrir cómo las fuerzas de la naturaleza actúan unas sobre otras y de qué manera el entorno geográfico ejerce su influencia sobre los animales y las plantas. En resumen, debo averiguar acerca de la armonía en la naturaleza.” Y él hizo exactamente eso.

Entre muchos otros proyectos, Humboldt midió la temperatura del agua del océano y sugirió el uso de "isolíneas" o líneas isotérmicas para conectar puntos de igual temperatura como un medio para caracterizar y mapear el medio ambiente global, especialmente el clima, y luego comparar las condiciones climáticas en varios países.

Humboldt también fue uno de los primeros científicos en estudiar cómo las condiciones físicas, como el clima, la altitud, la latitud y los suelos, afectaban la distribución de la vida. Con la ayuda de Bonpland, cartografió los cambios en la flora y la fauna entre el nivel del mar y la gran altitud en los Andes. En 1805, un año después de su regreso de las Américas, publicó un trabajo ahora célebre sobre la geografía del área, que resume la interconexión de la naturaleza e ilustra las zonas altitudinales de la vegetación. Años más tarde, en 1851, mostró la aplicación global de estas zonas comparando las zonas andinas con las de los Alpes europeos, los Pirineos, Laponia, Tenerife y el Himalaya asiático.

Definición de ecología

Cuando Haeckel acuñó la palabra “ecología”, él también seguía la tradición de ver un *gestalt* (unidad) del mundo vivo e inanimado. Un evolucionista entusiasta, se inspiró en Charles Darwin, cuya publicación de *En el origen de las especies* en 1859 desterró la noción de la Tierra como un mundo inmutable. Haeckel cuestionó el papel de la selección natural, pero creía que el medio ambiente jugaba un papel importante tanto en la evolución como en la ecología.



A fines del siglo XIX, el botánico danés Eugenius Warming, quien también escribió el primer libro de texto de ecología, impartía el primer curso universitario de ecología. *Plantesamfund*(*Ecología Vegetal*) en 1895. Del trabajo pionero de Humboldt, Warming desarrolló la subdivisión geográfica global de la distribución de plantas conocida como biomas, como el bioma de la selva tropical, que se basan en gran medida en la interacción de las plantas con el medio ambiente, especialmente el clima.

Individuos y comunidad

A principios del siglo XX, la definición moderna de ecología se desarrolló como el estudio científico de las interacciones que determinan la distribución y abundancia de los organismos. Estas interacciones incluyen el medio ambiente de un organismo, que abarca todos los factores que lo influyen, tanto bióticos (organismos vivos) como abióticos (factores no vivos como el suelo, el agua, el aire, la temperatura y la luz solar). El alcance de la ecología moderna va desde el organismo individual hasta las poblaciones de individuos de la misma especie, y la comunidad, formada por poblaciones que comparten un ambiente particular.

Muchos de los términos y conceptos básicos de la ecología provienen del trabajo de varios ecólogos pioneros en las primeras décadas del siglo XX. El concepto formal de comunidad biológica fue desarrollado por primera vez en 1916 por el botánico estadounidense Frederic Clements. Él creía que las plantas de un área determinada desarrollan una sucesión de comunidades a lo largo del tiempo, desde una comunidad pionera inicial hasta una comunidad clímax óptima dentro de



Toda esta cadena de envenenamiento, entonces, parece descansar sobre una base de diminutas plantas que debieron ser los concentradores originales.

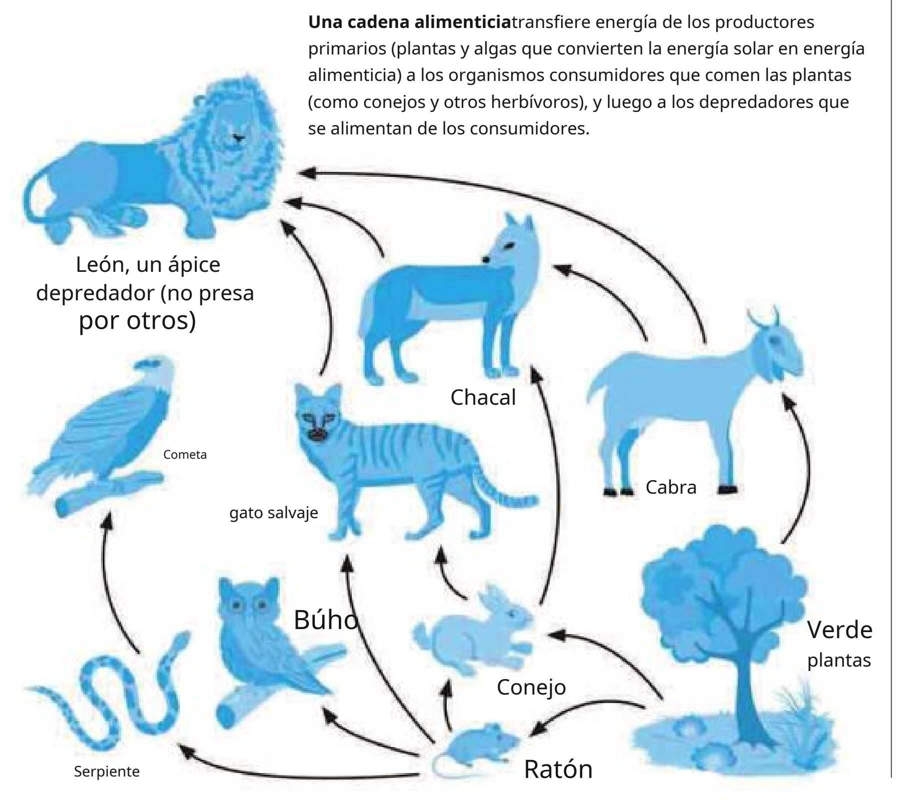
raquel carson



que comunidades sucesivas de diferentes especies se ajustan entre sí para formar una unidad estrechamente integrada e interdependiente, similar a los órganos de un cuerpo. La metáfora de Clements de la comunidad como un "organismo complejo" fue criticada al principio pero influyó en el pensamiento posterior.

La idea de una mayor integración ecológica a un nivel superior al de la comunidad se introdujo en 1935 con el concepto de ecosistema, desarrollado por el botánico inglés Arthur Tansley. Un ecosistema consta de elementos vivos y no vivos. Su interacción forma una unidad estable con un flujo sostenido de energía desde el medio ambiente hasta la parte viva (a través de la cadena alimenticia) y puede operar en todas las escalas, desde un charco hasta un océano o el planeta entero.

Los estudios de las comunidades animales realizados por el zoólogo inglés Charles Elton lo llevaron a desarrollar en 1927 el concepto de cadena alimentaria y ciclo alimentario, posteriormente conocido como "red alimentaria". Una cadena alimentaria está formada por la transferencia de energía a través de un ecosistema desde los productores primarios (como las plantas verdes en la tierra) a través de una serie de procesos de consumo.



Una cadena alimenticiatransfiere energía de los productores primarios (plantas y algas que convierten la energía solar en energía alimenticia) a los organismos consumidores que comen las plantas (como conejos y otros herbívoros), y luego a los depredadores que se alimentan de los consumidores.

raquel carson(extremo derecho) hizo una contribución significativa a la ciencia y la comprensión pública de la ecología al llamar la atención sobre el impacto destructivo de la contaminación en el medio ambiente.



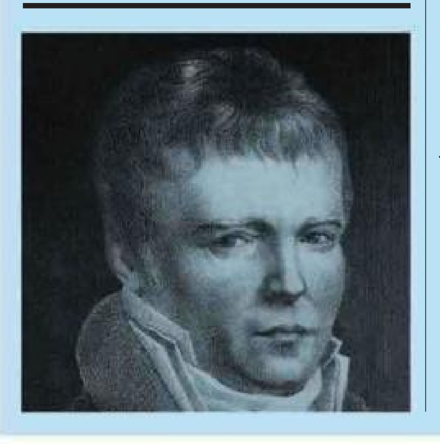
organismos Elton también reconoció que grupos particulares de organismos ocupaban ciertos nichos en la cadena alimenticia por períodos de tiempo. Los nichos de Elton incluyen no solo los hábitats sino también los recursos de los que dependen los organismos ocupantes para su sustento. La dinámica de la transferencia de energía a través de los niveles tróficos (de alimentación) fue estudiada por los ecólogos estadounidenses Raymond Lindeman y Robert MacArthur, cuyos modelos matemáticos

ayudó a cambiar la ecología de una ciencia principalmente descriptiva a una experimental.

el movimiento verde

Un auge en el interés popular y científico por la ecología en las décadas de 1960 y 1970 condujo al desarrollo del movimiento ambiental con una amplia gama de preocupaciones, estimulado por poderosos defensores como la bióloga marina estadounidense Rachel Carson. Su libro de 1962*Primavera silenciosa*documentado el efectos nocivos sobre el medio ambiente de productos químicos fabricados por el hombre, como el plaguicida DDT. La primera imagen de la Tierra vista desde el espacio, tomada por*Apolo 8*astronautas en 1968, despertó la conciencia pública sobre la fragilidad del planeta. En 1969 se establecieron las organizaciones Amigos de la Tierra y Greenpeace, con la misión de “garantizar la capacidad de la Tierra para nutrir la vida en toda su diversidad”. La protección del medio ambiente, junto con la limpieza y la energía renovable, los alimentos orgánicos, el reciclaje y la sustentabilidad estaban en la agenda política tanto en América del Norte como en Europa, y se establecieron agencias nacionales de conservación basadas en la ciencia de la ecología. Las últimas décadas han visto una creciente preocupación por el cambio climático global y su impacto en el medio ambiente y los ecosistemas actuales, muchos de los cuales ya están amenazados por la actividad humana.

alexander von Humboldt



Nacido en Berlín en el seno de una familia adinerada y bien conectada, Humboldt estudió finanzas en la Universidad de Frankfurt, historia natural y lingüística en Göttingen, lengua y comercio en Hamburgo, geología en Friburgo y anatomía en Jena. La muerte de su madre en 1796 proporcionó a Humboldt los medios para financiar una expedición a las Américas de 1799 a 1804, acompañado por el botánico Aimé Bonpland. Usando lo último equipo científico, Humboldt midió todo, desde plantas hasta estadísticas de población y minerales hasta meteorología.

A su regreso, Humboldt fue homenajeado en toda Europa. Con sede en París, tardó 21 años en procesar y publicar sus datos en más de 30 volúmenes, y luego sintetizó sus ideas en cuatro volúmenes titulados *Kosmos*. Se completó un quinto volumen después de su muerte en Berlín a los 89 años. Darwin lo llamó "el viajero científico más grande que jamás haya existido".

Trabajos clave

1825 *Viaje a las Regiones Equinocciales del Nuevo Continente* **1845-1862** *Kosmos*



LA LUZ VIAJA MÁS LENTAMENTE EN AGUA QUE EN EL AIRE

LÉON FOUCAULT (1819–1868)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES

1676 Ole Rømer hace la primera estimación exitosa de la velocidad de la luz, usando eclipses de Io, una de las lunas de Júpiter.

1690 Christiaan Huygens publica su *Tratado sobre la luz*, en el que propone que la luz es un tipo de onda.

1704isaac newton *óptica* sugiere que la luz es una corriente de "corpúsculos".

DESPUÉS

1864 James Clerk Maxwell se da cuenta de que la velocidad de las ondas electromagnéticas es tan parecida a la velocidad de la luz que la luz debe ser una forma de onda electromagnética.

1879-1883 Estados Unidos nacido en Alemania el físico Albert Michelson refina el método de Foucault y obtiene una medida de la velocidad de la luz (a través del aire) muy cercana al valor actual.



En el siglo XVII, los científicos comenzaron a investigar la luz y si tenía una velocidad finita y medible. En 1690, Christiaan Huygens publicó su teoría de que la luz es una onda de presión que se mueve en un fluido misterioso llamado éter. Huygens pensó en la luz como una onda longitudinal y predijo que la onda viajaría más lentamente a través del vidrio o el agua que a través del aire. En 1704, Isaac Newton publicó su teoría de la luz como una corriente de "corpúsculos" o partículas. La explicación de Newton para la refracción, la curvatura de un haz de luz cuando pasa de un material transparente a otro, suponía que la luz viajaba más rápido después de pasar del aire al agua.

Las estimaciones de la velocidad de la luz se basaron en fenómenos astronómicos, que muestran qué tan rápido viaja la luz a través del espacio. El primer terrestre

Ver también: Christiaan Huygens 50–51 · Viejo Romer 58–59 · Isaac Newton 62–69 · Tomás joven 110–11 · James Clerk Maxwell 180–85 · Albert Einstein 214–21 · Ricardo Feynman 272–73



Ante todo debemos ser precisos, y es una obligación que pretendemos cumplir escrupulosamente.

leon foucault

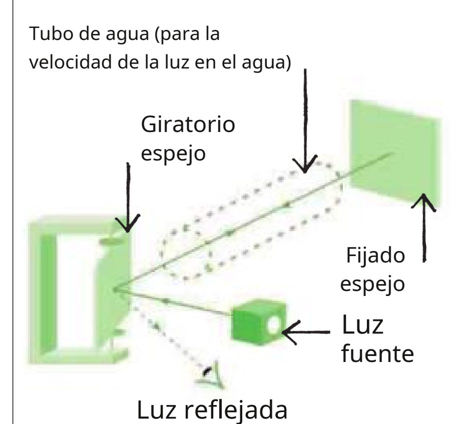


La medición fue realizada por el físico francés Hippolyte Fizeau en 1849. Un rayo de luz brilló a través de un espacio entre los dientes de una rueda dentada giratoria. Luego, esa luz se reflejó en un espejo que se colocó a 8 km (5 millas) de distancia y pasó de regreso a través del siguiente espacio entre los dientes de la rueda. Tomando la velocidad de rotación precisa que permitió que esto sucediera, junto con el tiempo y la distancia, Fizeau calculó la velocidad de la luz en 194 489 millas/s (313 000 km/s).

contradiciendo a newton

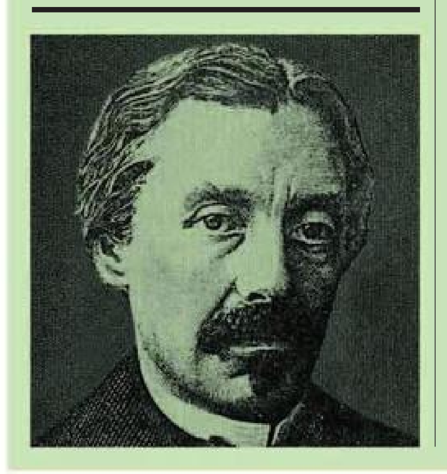
En 1850, Fizeau colaboró con su colega físico León Foucault, quien adaptó su aparato y lo hizo mucho más pequeño al reflejar el haz de luz en un espejo giratorio en lugar de hacerlo pasar por la rueda dentada. La luz que brilla en el espejo giratorio solo se reflejaría hacia el espejo distante cuando el espejo giratorio estuviera en el ángulo correcto. La luz que regresaba del espejo fijo se reflejaba nuevamente en el espejo giratorio, pero dado que este espejo se había movido mientras la luz viajaba, no se reflejaba directamente hacia la fuente. La velocidad de la luz ahora podría calcularse a partir del ángulo entre la luz que va hacia y desde el espejo giratorio y la velocidad de rotación del espejo.

La velocidad de la luz en el agua podría medirse poniendo un tubo de agua en el aparato entre el rotatorio y espejos estacionarios. Usando este aparato, Foucault estableció que la luz viajaba más lentamente en el agua que en el aire. como tal, el argumentó, la luz no podía ser una partícula, y el experimento fue visto en ese momento como una refutación de la teoría de los corpúsculos de Newton. Foucault perfeccionó aún más su aparato y, en 1862, midió la velocidad de la luz en el aire en 185 168 millas/s (298 000 km/s), muy cerca del valor actual de 186 282 millas/s (299 792 km/s).



En el experimento de Foucault, la velocidad de la luz se calculó a partir de la diferencia de ángulo como un haz de luz reflejado de un lado a otro entre un espejo giratorio y un espejo fijo.

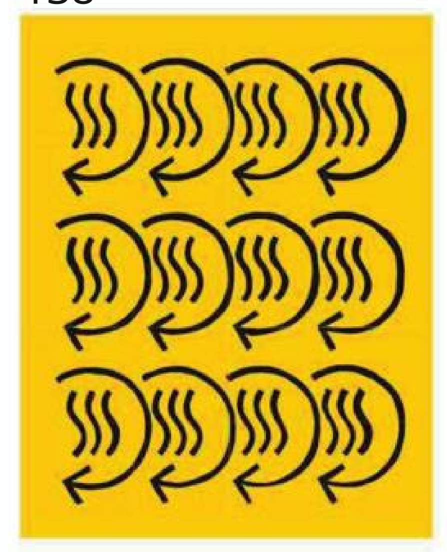
leon foucault



Nacido en París, Francia, Léon Foucault se educó principalmente en casa antes de ingresar a la facultad de medicina, donde estudió con el bacteriólogo Alfred Donné. Como no podía soportar la vista de la sangre, Foucault pronto abandonó sus estudios, se convirtió en asistente de laboratorio de Donné e ideó una forma de tomar fotografías a través de un microscopio; más tarde se asoció con Hippolyte Fizeau para tomar la primera fotografía del Sol. Además de medir la velocidad de la luz, Foucault es mejor conocido por proporcionar evidencia experimental de la rotación de la Tierra, utilizando un péndulo en 1851 y más tarde un giroscopio. Aunque no tenía una formación científica formal, se creó un puesto para Foucault en el Observatorio Imperial de París. También fue nombrado miembro de varias sociedades científicas y es uno de los 72 científicos franceses nombrados en la Torre Eiffel.

Trabajos clave

1851 *Demostración del Movimiento Físico de Rotación de la Tierra por Medio del Péndulo*
1853 *Sobre las velocidades relativas de la luz en el aire y en el agua*



LA FUERZA VIVA SE PUEDE CONVERTIR EN CALOR

JAMES JOULE (1818–1889)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1749 La matemática francesa Émilie du Châtelet deriva su ley de conservación de la energía de las leyes de Newton.

1824 El ingeniero francés Sadi Carnot afirma que no existen procesos reversibles en la naturaleza, allanando el camino para la segunda ley de la termodinámica.

1834 El físico francés Émile Clapeyron desarrolla el trabajo de Carnot enuncia una versión de la segunda ley de la termodinámica.

DESPUÉS
1850 El físico alemán Rudolf Clausius da la primera declaración clara de la primera y segunda leyes de la termodinámica.

1854ingeniero escocés William Rankine añade el concepto que luego se denomina entropía (una medida del desorden) en la transformación de la energía.

T El principio de la conservación de la energía. afirma que la energía nunca es perdido pero sólo cambiado en la forma. Pero en la década de 1840, los científicos solo tenían una vaga idea de lo que era la energía.
Fue el hijo de un cervecero británico, James Joule, quien demostró que el calor, el movimiento mecánico y la electricidad son formas intercambiables de energía, y que cuando una se cambia por otra, la energía total sigue siendo la misma.

Conversión de energía

Joule comenzó sus experimentos en un laboratorio en la casa familiar. En 1841, descubrió cuánto calor genera una corriente eléctrica. Experimentó convirtiendo el movimiento mecánico en calor y desarrolló un experimento en el que un peso que cae hace girar una rueda de paletas en el agua, calentando el agua. Al medir el aumento de la temperatura del agua, Joule pudo calcular la cantidad exacta de calor que generaría una cierta cantidad de trabajo mecánico. Continuó afirmando que ninguna energía nunca se perdió en esta conversión. Sus ideas fueron ignoradas en gran medida hasta 1847, cuando el físico alemán Hermann Helmholtz publicó un artículo que resumía la teoría de la conservación de la energía, y luego Joule presentó su trabajo en la Asociación Británica de Oxford. La unidad estándar de energía, un julio, lleva su nombre.



En el experimento de Joule, un peso que caía impulsó una paleta que giró dentro de un balde de agua. La energía del movimiento se transformó en calor.

Ver también: Isaac Newton 62–69 · José negro 76–77José Fourier 122–23



LA FUERZA VIVA SE PUEDE CONVERTIR EN CALOR

JAMES JOULE (1818–1889)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1749 La matemática francesa Émilie du Châtelet deriva su ley de conservación de la energía de las leyes de Newton.

1824 El ingeniero francés Sadi Carnot afirma que no existen procesos reversibles en la naturaleza, allanando el camino para la segunda ley de la termodinámica.

1834 El físico francés Émile Clapeyron desarrolla el trabajo de Carnot enuncia una versión de la segunda ley de la termodinámica.

DESPUÉS
1850 El físico alemán Rudolf Clausius da la primera declaración clara de la primera y segunda leyes de la termodinámica.

1854ingeniero escocés William Rankine añade el concepto que luego se denomina entropía (una medida del desorden) en la transformación de la energía.

TEl principio de la conservación de la energía. afirma que la energía nunca es perdido pero sólo cambiado en la forma. Pero en la década de 1840, los científicos solo tenían una vaga idea de lo que era la energía.
Fue el hijo de un cervecero británico, James Joule, quien demostró que el calor, el movimiento mecánico y la electricidad son formas intercambiables de energía, y que cuando una se cambia por otra, la energía total sigue siendo la misma.

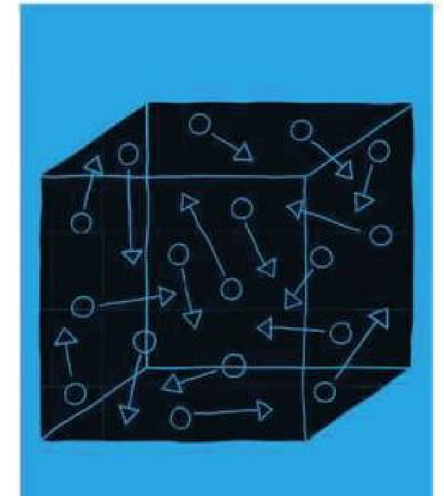
Conversión de energía

Joule comenzó sus experimentos en un laboratorio en la casa familiar. En 1841, descubrió cuánto calor genera una corriente eléctrica. Experimentó convirtiendo el movimiento mecánico en calor y desarrolló un experimento en el que un peso que cae hace girar una rueda de paletas en el agua, calentando el agua. Al medir el aumento de la temperatura del agua, Joule pudo calcular la cantidad exacta de calor que generaría una cierta cantidad de trabajo mecánico. Continuó afirmando que ninguna energía nunca se perdió en esta conversión. Sus ideas fueron ignoradas en gran medida hasta 1847, cuando el físico alemán Hermann Helmholtz publicó un artículo que resumía la teoría de la conservación de la energía, y luego Joule presentó su trabajo en la Asociación Británica de Oxford. La unidad estándar de energía, un julio, lleva su nombre.



En el experimento de Joule, un peso que caía impulsó una paleta que giró dentro de un balde de agua. La energía del movimiento se transformó en calor.

Ver también: Isaac Newton 62–69 · José negro 76–77José Fourier 122–23



ESTADÍSTICO ANÁLISIS DE MOLECULAR MOVIMIENOT

LUDWIG BOLTZMANN (1844-1906)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1738 Daniel Bernoulli sugiere que los gases están hechos de moléculas en movimiento.

1827 botánico escocés Robert Brown identifica el movimiento del polen en el agua, que se conoce como movimiento browniano.

1845 El físico escocés John Waterston describe cómo se distribuye la energía entre las moléculas de gas según reglas estadísticas.

1857 James Clerk Maxwell calcula la velocidad media de las moléculas y la distancia media entre colisiones.

DESPUÉS
1905 Albert Einstein analiza matemáticamente el movimiento browniano, mostrando cómo es el resultado del impacto de moléculas.

B a mediados del siglo XIX, los átomos y las moléculas se habían convertido ideas centrales en química, y la mayoría de los científicos entendieron que eran la clave para la identidad y el comportamiento de elementos y compuestos. Pocos pensaron que tenían mucha relevancia para la física, pero en la década de 1880, el físico austriaco Ludwig Boltzmann desarrolló la teoría cinética de los gases, colocando a los átomos y las moléculas en el corazón de la física también.



La energía disponible es el principal objeto en juego en la lucha por la existencia y la evolución del mundo.
Luis Boltzmann



A principios del siglo XVIII, el físico suizo Daniel Bernoulli sugirió que los gases están formados por una multitud de moléculas en movimiento. Es su impacto lo que crea presión y su energía cinética (la energía de su movimiento) la que crea calor. En las décadas de 1840 y 1850, los científicos comenzaron a darse cuenta de que las propiedades de los gases reflejan el movimiento promedio de las innumerables partículas. En 1859, James Clerk Maxwell calculó la velocidad de las moléculas y la distancia que recorrieron antes de chocar, demostrando que la temperatura es una medida de la velocidad promedio de las moléculas.

Centralidad de las estadísticas
Boltzmann reveló cuán importantes son las estadísticas. Demostró que las propiedades de la materia son simplemente una combinación de las leyes básicas del movimiento y las reglas estadísticas de probabilidad. Siguiendo este principio, calculó un número que ahora se llama la constante de Boltzmann, proporcionando una fórmula que vincula la presión y el volumen de un gas con el número y la energía de sus moléculas.

Ver también: John Dalton 112–13 · James Joule 138 · James Clerk Maxwell 180–85 · Albert Einstein 214–21



EL PLÁSTICO NO ES LO QUE QUISE DECIR INVENTAR

LEO BAEKELAND (1863-1944)

EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES
1839boticario de berlín Eduard Simon destila resina de estirol del árbol de liquidámbar turco. Un siglo después, la empresa alemana IG Farben lo convierte en poliestireno.

1862alejandro parkes desarrolla el primer plástico sintético, Parkesine.

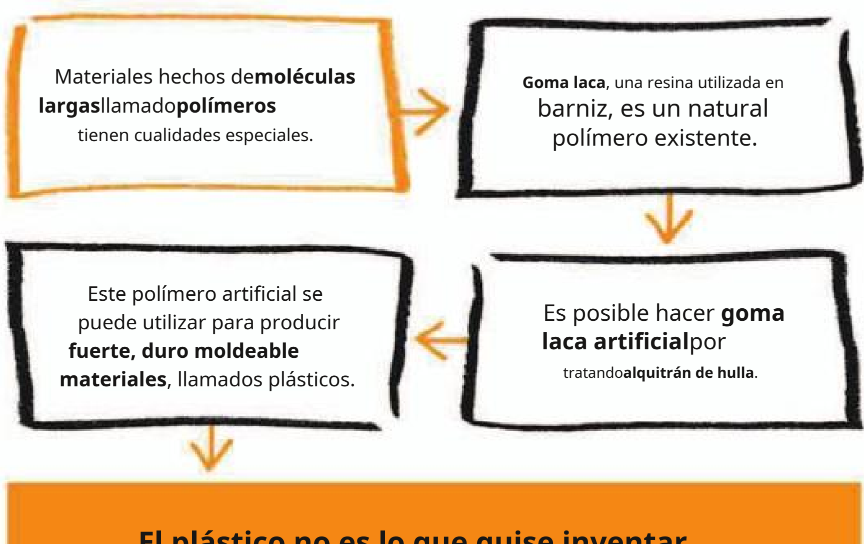
1869 El estadounidense John Hyatt crea el celuloide, que pronto se usa en lugar del marfil para fabricar bolas de billar.

DESPUÉS
1933 Los químicos británicos Eric Fawcett y Reginald Gibson de la compañía ICI crean el primer polietileno práctico.

1954 El italiano Giulio Natta y el alemán Karl Rehn inventan de forma independiente polipropileno, ahora el plástico más utilizado.

Tl descubrimiento de los plásticos sintéticos en el siglo XIX abrió el camino a la creación de una amplia gama de materiales sólidos como nunca antes se había conocido, ligeros, resistentes a la corrosión y capaces de moldearse en casi cualquier forma imaginable. Si bien los plásticos pueden ocurrir naturalmente, todos los plásticos que ahora se usan ampliamente son completamente sintéticos. En 1907, el inventor estadounidense de origen belga Leo Baekeland creó uno de los primeros plásticos comerciales exitosos, ahora conocido como baquelita.

Lo que le da al plástico su cualidad especial es la forma de sus moléculas. Con solo unas pocas excepciones, los plásticos están hechos de moléculas orgánicas largas, conocidas como polímeros, unidas entre sí.
de muchas moléculas más pequeñas, o monómeros. Unos pocos polímeros se encuentran de forma natural, como la celulosa, la principal sustancia leñosa de las plantas.



El plástico no es lo que quise inventar.

Ver también: Friedrich Wöhler 124–25 Linus Augusto Kekulé 160–65
Pauling 254–59 Harry Kroto 320–21



Estaba tratando de hacer algo muy duro, pero luego pensé que debería hacer algo muy suave en su lugar, que se pueden moldear en diferentes formas. Así fue como se me ocurrió el primer plástico.

leo baekeland



Aunque las moléculas de los polímeros naturales eran demasiado complejas para descifrarlas en el siglo XIX, algunos científicos comenzaron a explorar formas de fabricarlas sintéticamente a partir de reacciones químicas. En 1862, el químico británico Alexander Parkes creó una forma sintética de celulosa, a la que llamó parkesina. Unos años más tarde, el estadounidense John Hyatt desarrolló otro, que se conoció como celuloide.

imitando la naturaleza

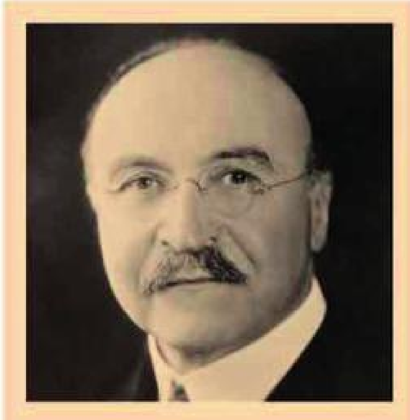
Después de desarrollar el primer papel fotográfico del mundo en la década de 1890, Baekeland vendió la idea a Kodak y usó el dinero para comprar una casa equipada con su propio laboratorio. Aquí, experimentó con formas de crear goma laca sintética. Shellac es una resina secretada por el escarabajo laca hembra. Es un polímero natural que se utilizaba para dar a los muebles y otros objetos una capa resistente y brillante. Baekeland descubrió que al tratar la resina fenólica hecha de alquitrán de hulla con formaldehído, él podría hacer una especie de goma laca. En 1907, añadió varios tipos de polvo a esta resina y descubrió que podía crear un notable plástico duro y moldeable.

Químicamente, este plástico se conoce como polioxibencilmetilenglicolanhídrido, pero Baekeland lo llamó simplemente baquelita. La baquelita era un plástico "termoendurecido", plástico que mantiene su forma después de calentarse. Debido a sus propiedades de aislamiento eléctrico y resistencia al calor, la baquelita pronto se utilizó para fabricar radios, teléfonos y aislantes eléctricos. Rápidamente se le encontraron muchos más usos.

Hoy en día, hay miles de plásticos sintéticos, incluidos el plexiglás, el polietileno, el polietileno de baja densidad y el celofán, cada uno con sus propias propiedades y usos. La mayoría se basan en hidrocarburos (sustancias químicas hechas de hidrógeno y carbono) derivados del petróleo o el gas natural. Sin embargo, en las últimas décadas, se han agregado fibras de carbono, nanotubos y otros materiales para crear materiales plásticos superligeros y superresistentes como el Kevlar.



Resistente al calor y no conductora de electricidad, la baquelita era un material ideal para usar en las carcasas de artículos eléctricos como teléfonos y radios.



leo baekeland

Leo Baekeland nació en Gante en Bélgica y estudió en la universidad allí. En 1889, se convirtió en profesor asociado de química y se casó con Celine Swarts.

Mientras la joven pareja estaba de luna de miel en Nueva York, Baekeland conoció a Richard Anthony, jefe de una conocida compañía fotográfica. Anthony quedó tan impresionado con el trabajo de Baekeland con la fotografía procesos que lo contrató como químico consultor. Baekeland se mudó a los EE. UU. y pronto estuvo en negocio por sí mismo.

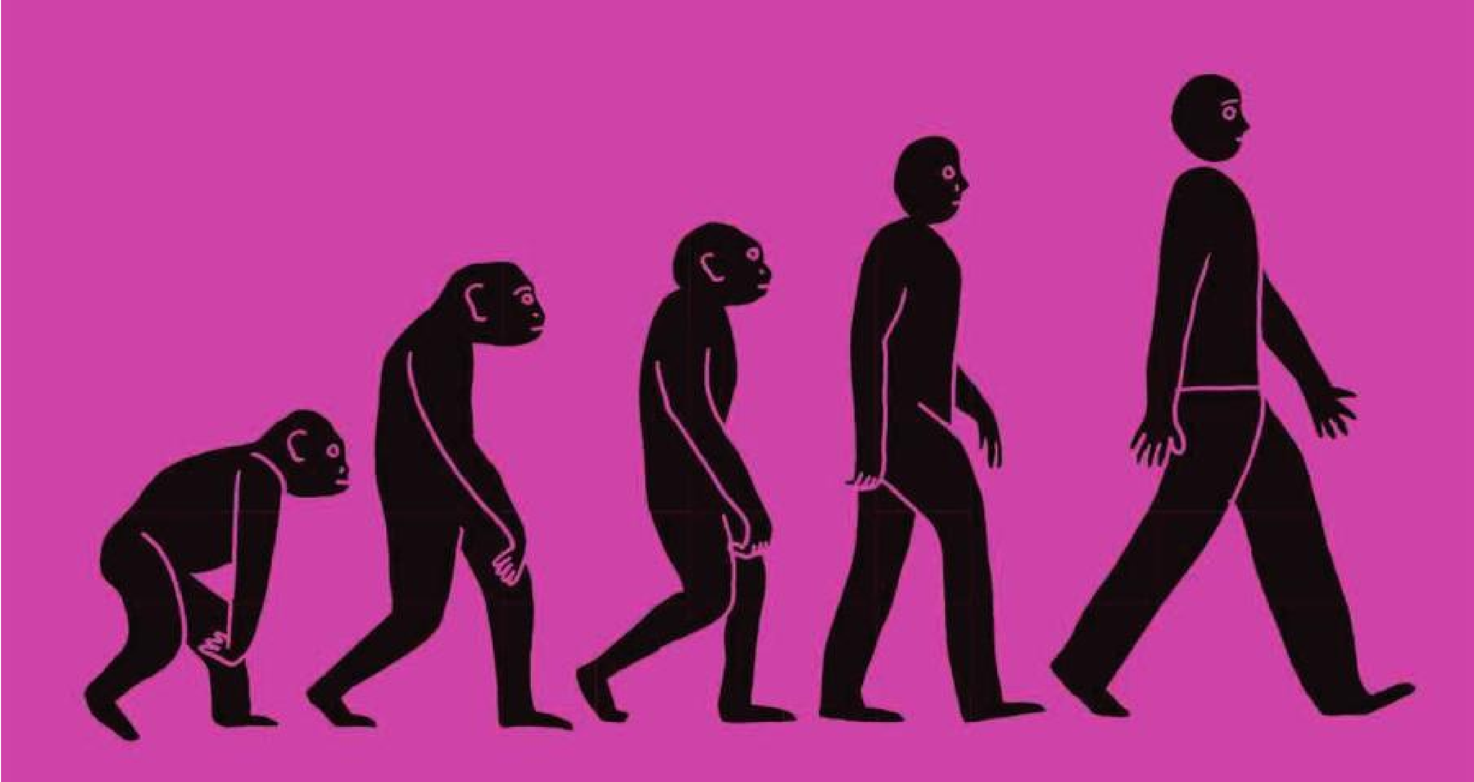
Baekeland inventó el primeros papeles fotográficos, conocidos como Velox, antes de desarrollar la baquelita, que le hizo rico. Se le atribuyen muchos inventos además del plástico, registrando más de 50 patentes en total. En su vida posterior, se convirtió en un recluso excéntrico, comiendo alimentos solo de latas. Murió en 1944 y está enterrado en el cementerio Sleepy Hollow, Nueva York.

Obra clave

1909 *Documento sobre baquelita leído a la American Chemical Society*

HE LLAMADO ESTE PRINCIPIO NATURAL SELECCIÓN

CARLOS DARWIN (1809–1882)



EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
1794erasmus darwin (abuelo de Charles) relata su visión de la evolución en*zoonomia*.

1809 Jean-Baptiste Lamarck propone una forma de evolución a través de la herencia de características adquiridas.

DESPUÉS
1937 Theodosius Dobzhansky publica su evidencia experimental de la base genética de la evolución.

1942 Ernst Mayr define el concepto de especie a través de poblaciones que se reproducen únicamente entre sí.

1972 Niles Eldredge y Stephen Jay Gould proponen que la evolución ocurre principalmente en ráfagas cortas intercaladas con períodos de relativa estabilidad.

La mayoría de los organismos producen**más crías de las que pueden sobrevivir**debido a limitaciones tales como la falta de alimento y espacio vital.

La descendencia varíaunos de otros de muchas maneras.

Medios de variación**algunos descendientes se adaptan mejor**o adaptado a la lucha por la supervivencia.

Si estos individuos**pasar lo ventajoso rasgos**a su descendencia, estos también sobreviven.

He llamado a este principio “selección natural”.

T el naturalista británico Charles Darwin no fue de ninguna manera el primer científico sugerir que las plantas, los animales y otros organismos no son fijos e inmutables o, para usar la palabra popular de la época, "inmutables". Como otros antes que él, Darwin propuso que las especies de organismos cambian o evolucionan a través del tiempo. Su gran contribución fue mostrar cómo se produjo la evolución mediante un proceso que denominó selección natural. Expuso su idea central en su libro.*Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural, o el Preservación de las razas favorecidas en la lucha por la vida*, publicado en Londres en 1859. Darwin describió el libro como “un largo argumento”.

“Confesar un asesinato”

*En el origen de las especies*se encontró con la oposición académica y popular. No hizo mención de la doctrina religiosa, que insistía en que las especies eran realmente fijas e inmutables y diseñadas por Dios. Pero gradualmente las ideas del libro cambiaron la perspectiva científica del mundo natural. Su noción central forma la base de todos los modernos biología, proporcionando una explicación simple, pero inmensamente poderosa, de las formas de vida tanto pasadas como presentes.

Darwin fue muy consciente de la blasfemia potencial en su trabajo durante las décadas que pasó escribiéndolo. Quince años antes de su publicación, le explicó a su confidente, el botánico Joseph Hooker, que su teoría no requería de Dios ni de especies inmutables: “Por fin han aparecido destellos de luz, y estoy casi convencido (muy al contrario de la opinión con la que comencé) de que las especies no son (es como confesar un asesinato) inmutables.”

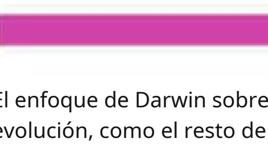
Ver también: James Hutton 96–101 · Jean-Baptiste Lamarck 118 · Gregorio Mendel 166–71 · Tomás Enrique Huxley 172–73 · Thomas Hunt Morgan 224–25 · Bárbara McClintock 271 · James Watson y Francis Crick 276–83 · Miguel Syvanen 318–19



La creación no es un evento que sucedió en 4004 antes de Cristo; es un proceso que comenzó hace unos 10 mil millones de años y todavía está en marcha.

Teodosio Dobzhansky





El enfoque de Darwin sobre la evolución, como el resto de su amplio trabajo en historia natural, fue cauteloso, cuidadoso y deliberado. Avanzó paso a paso, acumulando grandes cantidades de pruebas a lo largo del camino. Durante casi 30 años, integró su amplio conocimiento de fósiles, geología, plantas, animales y crianza selectiva, con conceptos de demografía, economía y muchos otros campos. La teoría resultante de la evolución por selección natural se considera uno de los mayores avances científicos de la historia.

El papel de Dios

A principios del siglo XIX, los fósiles fueron ampliamente discutidos en la sociedad victoriana. Algunos los consideraban formas de rocas formadas naturalmente y nada que ver con los organismos vivos. Otros los vieron como obra del Creador, puestos en la Tierra para probar a los creyentes. O pensaron que eran restos de organismos aún vivos en algún lugar del mundo, ya que Dios había creado los seres vivos en perfección.

En 1796, el naturalista francés Georges Cuvier reconoció que ciertos fósiles, como los de mamuts o perezosos gigantes, eran restos de animales que se habían extinguido. Reconcilió esto con su creencia religiosa al invocar catástrofes como el Diluvio representado en la Biblia. Cada desastre arrasó con toda una variedad de seres vivos; Entonces Dios repuso la Tierra con nuevas especies. Entre cada desastre, cada especie permaneció fijo e inmutable. Esta teoría se conoció como “catastrofismo” y se hizo ampliamente conocida tras la publicación del libro de Cuvier. *Discurso Preliminar* en 1813.

Sin embargo, en el momento en que Cuvier escribía, ya circulaban varias ideas basadas en la evolución. Erasmus Darwin, el abuelo librepensador de Charles, propuso una teoría temprana e idiosincrásica. Más influyentes fueron las ideas de Jean-Baptiste Lamarck, profesor de zoología en el Museo Nacional de Historia Natural de Francia. Su *Filosofía zoológica* de 1809 articuló lo que quizás fue la primera teoría razonada de la evolución. Él teorizó que los seres vivos evolucionaron desde comienzos simples a través de etapas cada vez más sofisticadas, debido a una "fuerza complejante". Enfrentaron desafíos ambientales en sus cuerpos físicos, y de ahí surgió la idea de uso y desuso en un individuo: “El uso más frecuente y continuo de cualquier órgano fortalece, desarrolla y agranda gradualmente ese órgano... mientras que el desuso permanente de cualquier órgano lo debilita imperceptiblemente. y lo deteriora...hasta que finalmente desaparece.” El mayor poder del órgano pasó luego a descendencia, fenómeno que se conoció como herencia de características adquiridas.

Aunque su teoría llegó a ser descartada en gran medida, Darwin elogió más tarde a Lamarck por haber abierto la posibilidad de que el cambio no ocurriera como resultado de lo que Darwin denominó despectivamente "interposición milagrosa".



aventuras del beagle

Darwin tuvo mucho tiempo para reflexionar sobre la inmutabilidad de las especies durante un viaje alrededor del mundo a bordo del barco de exploración HMS. *Beagle*, en 1831-1836, bajo el mando del capitán Robert FitzRoy. Como científico de la expedición, a Darwin se le encargó recolectar todo tipo de especímenes de fósiles, plantas y animales, y enviarlos de regreso a Gran Bretaña desde cada puerto de escala.

Mediante el estudio el registro fósil, Georges Cuvier estableció que las especies se habían extinguido. Pero creía que la evidencia apuntaba a una serie de catástrofes, no a un cambio gradual.

Este viaje épico abrió los ojos del joven Darwin, que aún tenía poco más de veinte años, a la increíble variedad de vida. dondequiera que el *Beagle* atracado, Darwin observó con atención todos los aspectos de la naturaleza. En 1835, describió y recolectó un grupo de pájaros pequeños e insignificantes en el
Islas Galápagos, un archipiélago del Océano Pacífico 560 millas (900 km) al oeste de Ecuador. Pensó que había nueve especies, seis de las cuales eran pinzones.

Después de su regreso a Inglaterra, Darwin organizó su masa de datos y supervisó un informe de varios autores y varios volúmenes, *La zoología del viaje del HMS* Beagle. En el volumen sobre aves, el renombrado ornitólogo John Gould declaró que en realidad había 13 especies en los especímenes de Darwin, todas ellas pinzones. Sin embargo, dentro del grupo había pájaros con picos de diferentes formas, adaptados a diferentes dietas.

En su propio relato superventas de su aventura, *El viaje del* Beagle, Darwin escribió: "Al ver esta gradación y diversidad de estructura en un pequeño grupo de aves íntimamente relacionado, uno podría realmente imaginarse que de la escasez original de aves en este archipiélago, una especie había sido tomada y modificado para diferentes fines." Esta fue una de las primeras formulaciones claras y públicas de hacia dónde se dirigían sus pensamientos sobre la evolución.

Comparando especies

Los pinzones de Darwin, como se conoció a los especímenes de Galápagos, no fueron el único detonante de su trabajo sobre la evolución. De hecho, sus pensamientos se habían estado acumulando durante todo el *Beagle* travesía, y especialmente durante su visita a las Galápagos. Estaba fascinado por las tortugas gigantes que vio y por la forma en que las formas de sus caparazones diferían sutilmente de una isla a otra. También quedó impresionado por las especies de sinsontes. Ellos también variaban entre las islas, pero también tenían similitudes no solo entre ellos, sino también con especies que vivían en el continente sudamericano.

Darwin sugirió que los diversos sinsontes podrían haber evolucionado a partir de un ancestro común que de alguna manera cruzó el Pacífico desde el continente; luego, cada grupo de aves evolucionó adaptándose a las condiciones particulares
ambiente en cada isla y su alimento disponible. gigante observador



La selección natural es el... principio por el cual una ligera variación (de un rasgo), si es útil, se conserva.
charles darwin

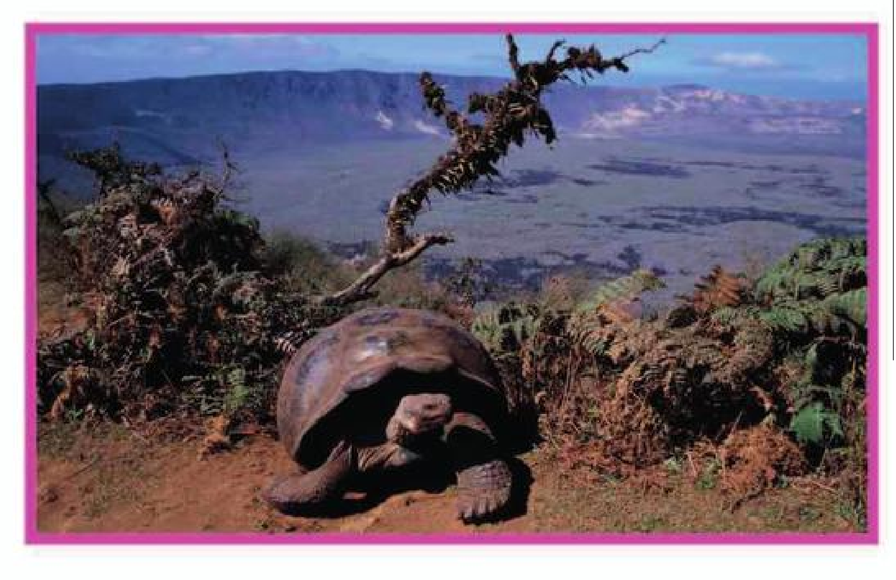


tortugas terrestres, zorros de las Islas Malvinas y otras especies apoyaron estas primeras conclusiones. Pero Darwin era sensible acerca de adónde llevarían esas ideas blasfemas: "Tales hechos socavarían la estabilidad de las especies".

Otras partes del rompecabezas

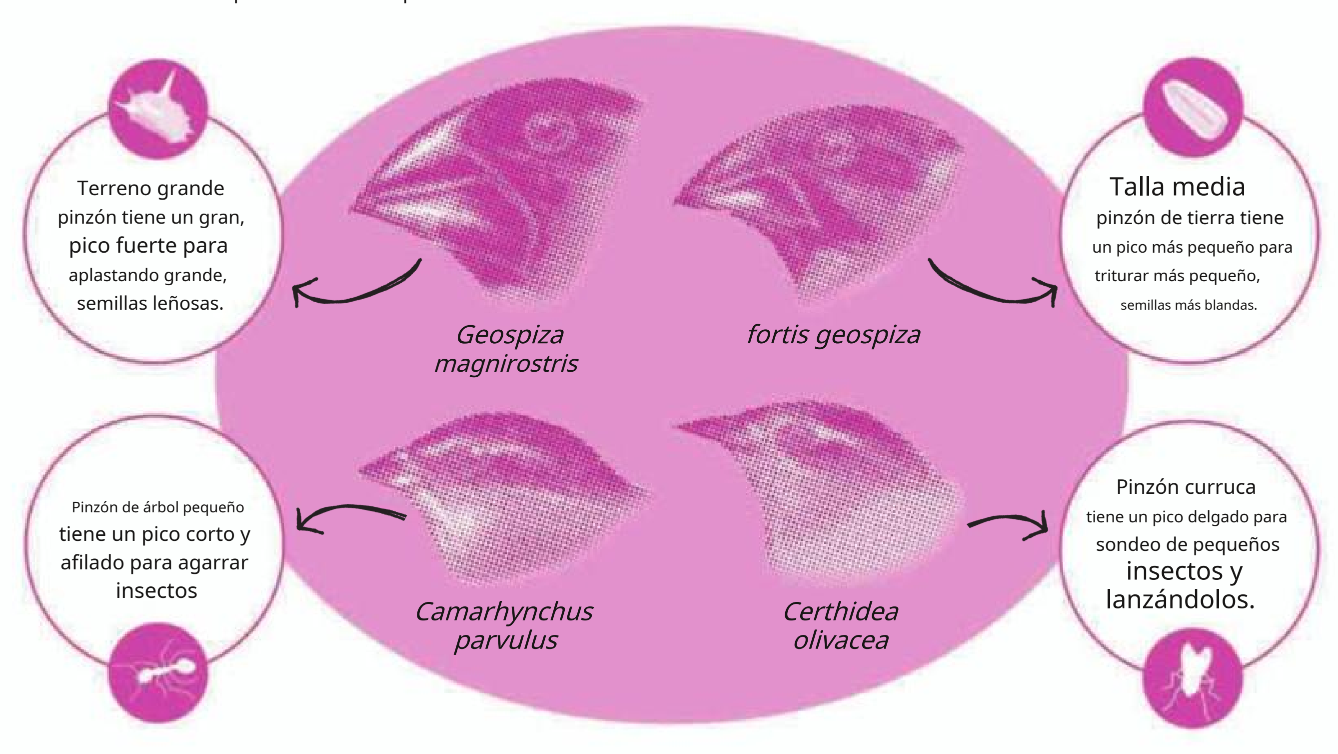
De camino a América del Sur en 1831, Darwin había leído el primer volumen de la obra de Charles Lyell. *Principios de Geología*. Lyell argumentó en contra de la historia del catastrofismo de Cuvier y su teoría de la formación de fósiles. En cambio, adaptó las ideas de renovación geológica presentadas por James Hutton en una teoría conocida como "uniformitarismo". La Tierra se estaba formando, alterando y reformando continuamente durante inmensos períodos de tiempo mediante procesos como la erosión de las olas y la agitación volcánica que eran los mismos que suceden hoy. No había necesidad de invocar intervenciones desastrosas de Dios.

Las ideas de Lyell transformaron la forma en que Darwin interpretaba las formaciones del paisaje, las rocas y



Esta tortuga gigante solo se encuentra en las Islas Galápagos, donde se han desarrollado subespecies únicas en cada isla. Darwin reunió evidencia aquí para su teoría de la evolución.

Los pinzones de Galápagoshan desarrollado picos de diferentes formas adaptados a dietas específicas.



fósiles que encontró en sus exploraciones, que ahora vio "a través de los ojos de Lyell". Sin embargo, mientras estuvo en América del Sur, el volumen dos de *Principios de Geología*llegó. En él, Lyell rechazó las ideas de evolución gradual de plantas y animales, incluidas las teorías de Lamarck. En cambio, invocó el concepto de “centros de creación” para explicar la diversidad y distribución de las especies. Aunque Darwin admiraba a Lyell como geólogo, tuvo que descartar este último concepto a medida que aumentaba la evidencia de la evolución.

Otra pieza del rompecabezas se reveló en 1838 cuando Darwin leyó*Un ensayo sobre el principio de la población*del demógrafo inglés Thomas Malthus, que había sido publicado 40 años antes. Malthus describió cómo las poblaciones humanas pueden aumentar de manera exponencial, con la potencial de duplicarse después de una generación de 25 años, luego duplicarse nuevamente en la próxima generación, y así sucesivamente. Sin embargo, los suministros de alimentos no pudieron expandirse de la misma manera, y el resultado fue una lucha por la existencia. Las ideas de Malthus fueron una de las principales inspiraciones de la teoría de la evolución de Darwin.

Los años tranquilos

Incluso antes de la*Beagle*había regresado a Inglaterra, el interés generado por los especímenes que Darwin había enviado lo había convertido en una celebridad. Después de su regreso, sus relatos científicos y populares del viaje aumentaron su fama. Sin embargo, su salud se deterioró y poco a poco se retiró del ojo público.

En 1842, Darwin se mudó a la paz y tranquilidad de Down House en Kent, donde continuó acumulando evidencia para apoyar su teoría de la evolución. Científicos de todo el mundo le enviaron especímenes y datos. Estudió la domesticación de animales y plantas, y el papel de la cría selectiva, o selección artificial, especialmente en las palomas. En 1855, comenzó a criar variedades de *colombia livia*, o palomas bravías, y ocuparían un lugar destacado en los dos primeros capítulos de*En el origen de las especies*.

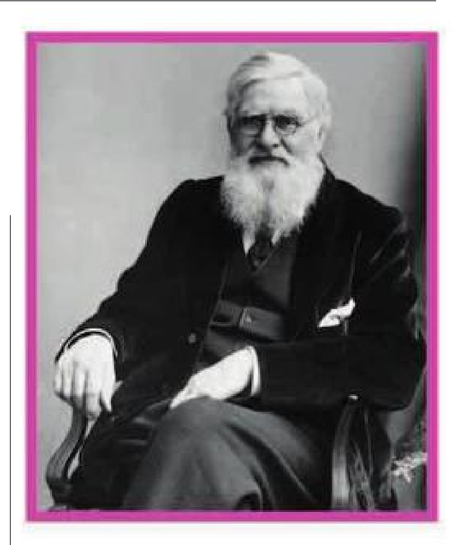
A través de su trabajo con las palomas, Darwin comenzó a comprender el alcance y la relevancia de la variación entre los individuos. Rechazó la sabiduría aceptada de que los factores ambientales eran los responsables de tales diferencias, insistiendo en que la causa era la reproducción, con variaciones heredadas de algún modo de los padres. Agregó esto a las ideas de Malthus y las aplicó al mundo natural.

Mucho más tarde, en su autobiografía, Darwin recordó su reacción cuando leyó por primera vez a Malthus allá por 1838. “Estando bien preparado para apreciar la lucha por la existencia... inmediatamente me di cuenta de que bajo estas circunstancias las variaciones favorables tenderían a ser preservados, y los desfavorables para ser destruidos. El resultado de esto sería la formación de nuevas especies... Por fin tenía una teoría con la que trabajar.

Sabiendo más sobre el papel de la variación, en 1856 Darwin, el criador de palomas, podía imaginar que no los humanos sino la naturaleza eligiendo. Del término “selección artificial” derivó “selección natural”.

Entra en acción

El 18 de junio de 1858, Darwin recibió un breve ensayo de un joven naturalista británico llamado Alfred Russel Wallace. Wallace describió un destello de intuición en el que de repente entendió cómo ocurrió la evolución y le pidió su opinión a Darwin. Darwin se sorprendió al leer que la idea de Wallace replicaba casi exactamente las mismas ideas en las que él mismo había estado trabajando durante más de 20 años.



Alfred Russell Wallace, como Darwin, desarrolló su teoría de la evolución a la luz de un extenso trabajo de campo, realizado primero en la cuenca del río Amazonas y luego en el archipiélago malayo.

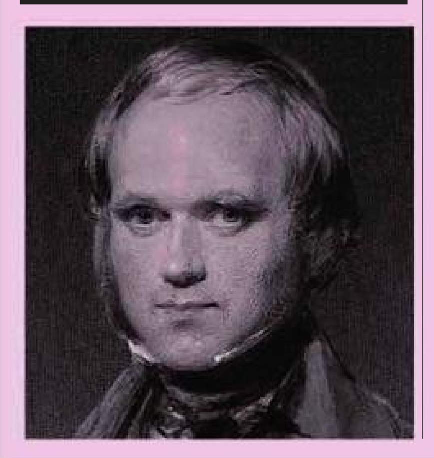
Preocupado por la precedencia, Darwin consultó a Charles Lyell. Acordaron una presentación conjunta de los artículos de Darwin y Wallace en la Linnaean Society de Londres el 1 de julio de 1858. Ninguno de los autores asistiría en persona. La respuesta de la audiencia fue cortés, sin protestas por la blasfemia. Animado, Darwin ahora terminó su libro. Publicado el 24 de noviembre de 1859, *En el origen de las especies*agotado en su primer día.

la teoria de darwin

Darwin afirma que las especies no son inmutables. Cambian o evolucionan, y el principal mecanismo de este cambio es la selección natural. El proceso se basa en dos factores.
Primero, nacen más crías de las que pueden sobrevivir cuando se enfrentan a los desafíos del clima, el suministro de alimentos, la competencia, los depredadores y enfermedades; esto conduce a una lucha por la existencia. En segundo lugar, hay variación, a veces pequeña pero presente, sin embargo, entre la descendencia dentro de una especie. Para la evolución, estas variaciones deben cumplir dos criterios. Uno: deberían tener algún efecto en la lucha por sobrevivir y reproducirse, es decir, deberían ayudar a conferir éxito reproductivo. Dos: deberían heredarse o pasarse a la descendencia, donde conferirían la misma ventaja evolutiva.

Darwin describe la evolución como un proceso lento y gradual. A medida que una población de organismos se adapta a un nuevo entorno, se convierte en una nueva especie, diferente de

charles darwin



Nacido en Shrewsbury, Inglaterra, en 1809, Darwin originalmente estaba destinado a seguir a su padre en la medicina, pero su infancia estuvo llena de actividades como la recolección de escarabajos, y con pocas ganas de convertirse en médico, se formó para el clero. Un nombramiento casual en 1831 lo colocó como científico de expedición en el HMS. *Beagle*El viaje alrededor del mundo de .

Después del viaje, Darwin estuvo bajo la atención de los científicos, ganando fama como observador perspicaz, experimentador confiable y escritor talentoso. Escribió sobre la formación de los arrecifes de coral. y sobre invertebrados marinos, especialmente percebes, que estudió durante casi 10 años. También escribió obras sobre fertilización, de orquídeas, plantas insectívoras, movimiento en las plantas y variación entre animales y plantas domesticados. Más tarde en la vida, abordó el origen de los humanos.

Trabajos clave

1839*El viaje del*Beagle **1859***Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural* **1871***La descendencia del hombre y la selección en relación con el sexo*



Creo que he descubierto (¡aquí está la presunción!) la forma simple en que las especies se adaptan exquisitamente a varios fines.

charles darwin



sus ancestros. Mientras tanto, esos ancestros pueden seguir siendo los mismos, o pueden evolucionar en respuesta a su propio entorno cambiante, o pueden perder la lucha por la supervivencia y extinguirse.

Secuelas

Enfrentados a una exposición tan completa, razonada y basada en la evidencia de la evolución por selección natural, la mayoría de los científicos pronto aceptaron el concepto de Darwin de "supervivencia del más apto". El libro de Darwin tuvo cuidado de evitar cualquier mención de los humanos en relación con la evolución, aparte de la única oración: "Se arrojará luz sobre el origen del hombre y su historia". Sin embargo, hubo protestas de la Iglesia, y la clara implicación de que los humanos habían evolucionado de otros animales fue ridiculizada en muchos sectores.

Darwin, como siempre evitando ser el centro de atención, permaneció absorto en sus estudios en Down House. A medida que aumentaba la controversia, numerosos científicos salieron en su defensa. El biólogo Thomas Henry Huxley fue vociferante al apoyar la teoría y defender el caso de la descendencia humana de los simios, y se autodenominó "el bulldog de Darwin".

Sin embargo, el mecanismo por el cual se produjo la herencia (cómo y por qué se transmiten algunos rasgos y otros no) siguió siendo un misterio. Coincidentemente, al mismo tiempo que Darwin publicaba su libro, un monje llamado Gregor Mendel estaba experimentando con plantas de guisantes en Brno (en la actual República Checa). Su trabajo sobre las características heredadas, informado en 1865, formó la base de la genética, pero fue pasado por alto por la corriente principal.

ciencia hasta el siglo XX, cuando los nuevos descubrimientos en genética se integraron en la teoría evolutiva, proporcionando un mecanismo para la herencia. El principio de Darwin de la selección natural sigue siendo clave para comprender el proceso.

Esta caricatura ridiculizando Darwin apareció en 1871, año en el que aplicó su teoría de la evolución a los humanos, algo que había tenido cuidado de evitar en trabajos anteriores.

PRONÓSTICO DE
CLIMA
ROBERTO FITZROY (1805–1865)



EN CONTEXTO

RAMA
Meteorología

ANTES
1643 Evangelista Torricelli inventa el barómetro, que mide la presión del aire.

1805 francisco beaufort desarrolla la escala de Beaufort de la fuerza del viento.

1847 Joseph Henry propone un enlace telegráfico para advertir al este de los Estados Unidos de las tormentas que vienen del oeste.

DESPUÉS
1870 El Cuerpo de Señales del Ejército de EE. UU. comienza a crear mapas meteorológicos para todo EE. UU.

1917 La Escuela de Meteorología de Bergen en Noruega desarrolla la noción de frentes meteorológicos.

2001 Los sistemas de análisis de superficie unificado utilizan computadoras potentes para proporcionar información meteorológica local muy detallada.

A hace siglo y medio, nociones de tiempo predicción fueron consideradas poco más que folklore. El hombre que cambió eso y nos dio el pronóstico del tiempo moderno fue el oficial naval y científico británico Capitán Robert FitzRoy.

FitzRoy es mejor conocido hoy como el capitán del *Beagle*, el barco que llevó a Charles Darwin en el viaje que condujo a su teoría de la evolución por selección natural. Sin embargo, FitzRoy fue un científico notable por derecho propio.

FitzRoy tenía solo 26 años cuando zarpó de Inglaterra con Darwin en 1831. Sin embargo, ya había servido más de una década en el mar y había estudiado en el Royal Naval College de Greenwich, donde fue el primer candidato en aprobar el examen de teniente con una calificación perfecta. marcas. Incluso había mandado *Beagle* en un viaje de estudio anterior por América del Sur, donde se le inculcó la importancia de estudiar el clima. Su barco casi se encuentra con el desastre en un viento violento frente a la costa de la Patagonia después de haber ignorado las señales de advertencia de caída.

presión en el barómetro del barco.



Con un barómetro, dos o tres termómetros, unas breves instrucciones y una atenta observación, no sólo de los instrumentos, sino del cielo. y la atmósfera, uno puede utiliza la Meteorología.
Roberto FitzRoy



Pioneros del clima naval

No fue una coincidencia que muchos de los primeros avances en el pronóstico del tiempo provinieran de oficiales navales. Saber qué clima se avecinaba era crucial en los días de los barcos de vela. Perder un buen viento podría tener enormes consecuencias financieras, y quedar atrapado en el mar en una tormenta podría ser desastroso.

Dos oficiales navales en particular ya habían hecho contribuciones significativas. uno era irlandés

Roberto FitzRoy



Nacido en 1805 en Suffolk, Inglaterra, en el seno de una familia aristocrática, Robert FitzRoy se unió a la Armada con solo 12 años. Continuó sirviendo muchos años en el mar como un destacado capitán de barco. El capitaneó el *Beagle* en dos importantes viajes de exploración a América del Sur, incluido el viaje alrededor del mundo con Charles Darwin. FitzRoy era, sin embargo, un cristiano devoto que se oponía a la teoría de la evolución de Darwin. Después de dejar el servicio activo en la Armada, FitzRoy se convirtió en gobernador de Nueva Zelanda, donde su trato imparcial hacia los maoríes le valió el resentimiento de los colonos. Regresó a Inglaterra en 1848 para comandar el primer barco de vapor de la Marina y fue nombrado jefe de la Oficina Meteorológica Británica cuando se estableció en 1854. Allí desarrolló los métodos que se convirtieron en la base de la predicción meteorológica científica.

Trabajos clave

1839 *Narrativa de los viajes del* Beagle
1860 *el manual del barómetro*
1863 *El libro del tiempo*

Ver también: Roberto Boyle 46–49 · Jorge Hadley 80·Gaspard-Gustave de Coriolis 126 · Carlos Darwin 142–49



El clima entra **patrones repetidos**.

El desarrollo de cada patrón es**indicado por signos** como la presión del aire, dirección del viento, y tipo de nube

Dado que los patrones son **repetido**, su progreso futuro puede ser**predicho**.

Observaciones de **múltiples localizaciones** proporcionar una "instantánea" de los patrones meteorológicos en un **Area Amplia**.

Desde el instantánea, meteorólogos puede pronosticar el clima.

el marinero Francis Beaufort, quien creó una escala estándar que mostraba la velocidad o “fuerza” del viento vinculada a condiciones particulares en el mar y más tarde en tierra. Esto permitió registrar y comparar metódicamente por primera vez la severidad de las tormentas. La escala iba desde 1, que indicaba “aire ligero”, hasta 12, “huracán”. La primera vez que se utilizó la escala de Beaufort fue por FitzRoy en el*Beagle*viaje. A partir de entonces, se convirtió en estándar en todos los registros de los buques de guerra.

Otro pionero del clima naval fue el estadounidense Matthew Maury. Creó cartas de viento y corrientes para el Atlántico Norte, lo que resultó en mejoras dramáticas para los tiempos de navegación y la certeza. También abogó por la creación de un servicio meteorológico marítimo y terrestre internacional y dirigió una conferencia en Bruselas en 1853 que comenzó a coordinar las observaciones sobre las condiciones en el mar de todo el mundo.

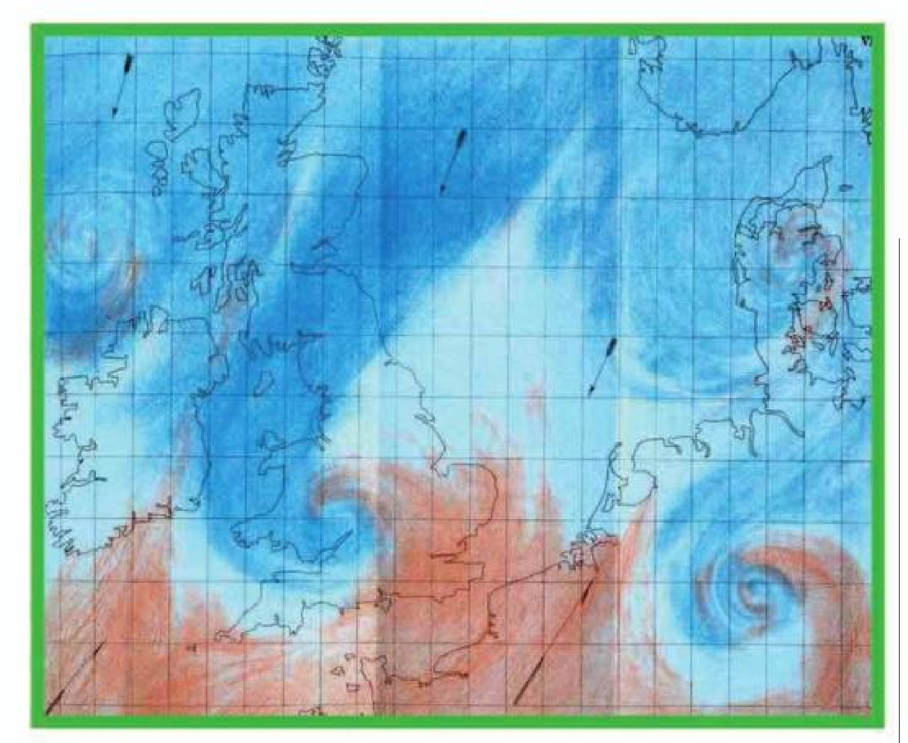
Antes de FitzRoycomenzó sus sistemas de informes meteorológicos, los marineros ya habían observado que los vientos forman patrones ciclónicos en los huracanes, y que la dirección del viento podría usarse para predecir la trayectoria de la tormenta.

La Oficina Meteorológica

En 1854, FitzRoy, animado por Beaufort, recibió la tarea de establecer la contribución británica en la Oficina Meteorológica.

Pero con el celo y la perspicacia característicos, FitzRoy fue mucho más allá de su mandato. Comenzó a ver que un sistema de observaciones meteorológicas simultáneas de todo el mundo no solo podría revelar patrones hasta ahora no descubiertos, sino que también podría usarse para hacer predicciones meteorológicas.

Los observadores ya sabían que en los huracanes tropicales, por ejemplo, los vientos soplan en un patrón circular o “ciclónico” alrededor de un área central de baja presión de aire o “depresión”. pronto se dio cuenta--



Fitz Roy de colorsus cuadros diarios "sinópticos" en crayón. Este, realizado en 1863, muestra un frente de baja presión que trae tormentas hacia el norte de Europa desde el oeste. La parte inferior derecha del gráfico revela la formación de un ciclón.

que la mayoría de las grandes tormentas que soplan en las latitudes medias muestran esta forma de depresión ciclónica.

Entonces, la dirección del viento da una pista de si la tormenta se acerca o se aleja.

En la década de 1850, mejores registros de eventos meteorológicos y el uso del nuevo telégrafo eléctrico para comunicarse a largas distancias, revelaron casi instantáneamente que las tormentas ciclónicas, que se forman sobre la tierra, se mueven hacia el este. En contraste, los huracanes (tormentas tropicales del Atlántico Norte) se forman sobre el agua y migran hacia el oeste. Entonces, en América del Norte, cuando una tormenta golpea un lugar tierra adentro, se puede enviar un telégrafo para advertir a los lugares más al este que una tormenta está en camino. Los observadores ya sabían que una caída en la presión del aire en el barómetro advertía que se avecinaba una tormenta. El telégrafo permitió tal

lecturas para ser retransmitidas rápidamente a grandes distancias y, por lo tanto, dieron advertencias con mucha más anticipación.

Tiempo sinóptico

FitzRoy entendió que las claves para la predicción del clima eran observaciones sistemáticas de la presión del aire, la temperatura y la velocidad y dirección del viento tomadas en momentos establecidos desde lugares muy dispersos. Cuando estas observaciones fueron enviadas instantáneamente por telégrafo a su oficina de coordinación en Londres, pudo construir una imagen o "sinopsis" de las condiciones climáticas en un área extensa.

Esta sinopsis proporcionó una imagen tan completa de las condiciones meteorológicas que no solo reveló los patrones meteorológicos actuales a gran escala, sino que también permitió realizar un seguimiento de los patrones meteorológicos. FitzRoy se dio cuenta de que los patrones climáticos se repetían. A partir de esto, le quedó claro que podía averiguar cómo se desarrollarían los patrones climáticos en un corto período de tiempo en el futuro, a partir de cómo se desarrollaron en el pasado. Esto proporciona la base para un

previsión detallada del tiempo

en cualquier punto dentro de la región cubierta. Esta fue una idea notable que formó la base de los pronósticos modernos.

Las cifras de observación por sí solas fueron suficientes, pero FitzRoy también las utilizó para crear el primer gráfico meteorológico moderno, el gráfico "sinóptico" que revelaba las formas arremolinadas de las tormentas ciclónicas con tanta claridad como lo hacen hoy las imágenes de satélite. Las ideas de FitzRoy se resumieron en su libro, titulado simplemente

El libro del tiempo(1863), que introdujo la palabra "pronóstico" y expuso los principios del pronóstico moderno por primera vez.

Un paso crucial fue dividir las Islas Británicas en áreas climáticas, cotejar las condiciones climáticas actuales y usar datos meteorológicos anteriores de cada área para ayudar a hacer pronósticos. FitzRoy reclutó una red de observadores, particularmente en el mar y en los puertos de las Islas Británicas. También obtuvo datos de Francia y España, donde la idea de la observación meteorológica constante se estaba poniendo de moda. En pocos años, su red



Intento, con mis avisos de probable mal tiempo, evitar la necesidad de un bote salvavidas.

Roberto FitzRoy



estaba operando con tanta eficacia que podía obtener una instantánea diaria de los patrones climáticos en toda Europa occidental. Los patrones en el clima se revelaron con tanta claridad que pudo pronosticar cómo era probable que cambiara al menos al día siguiente, y así producir los primeros pronósticos nacionales.

Pronósticos meteorológicos diarios

Todas las mañanas llegaban a la oficina de FitzRoy informes meteorológicos de decenas de estaciones meteorológicas de toda Europa occidental y, en una hora, se había resuelto el cuadro sinóptico. Instantáneamente, los pronósticos fueron enviados a*Los tiempos* periódico que se publicará para que todos lo lean. El primer pronóstico del tiempo fue publicado por el periódico el 1 de agosto de 1861.

FitzRoy instaló un sistema de conos de señalización en lugares muy visibles de los puertos para advertir si se avecinaba una tormenta y de qué dirección. Este sistema funcionó tan bien que salvó innumerables vidas.

Sin embargo, a algunos armadores les molestaba el sistema cuando sus capitanes comenzaban a retrasar el zarpe si se les advertía de una tormenta. También hubo problemas para difundir los pronósticos a tiempo. Se necesitaron 24 horas para distribuir el periódico, por lo que FitzRoy tuvo que hacer pronósticos no solo para un día, sino para dos; de lo contrario, el tiempo habría ocurrido para cuando la gente leyera sus pronósticos. Era consciente de que los pronósticos a más largo plazo eran mucho menos fiables y, con frecuencia, estaba expuesto al ridículo, especialmente cuando *Los tiempos*se desvinculó de los errores.

El legado de FitzRoy

Ante un aluvión de burlas y críticas de los intereses creados, se suspendieron los pronósticos y FitzRoy se suicidó en 1865. Cuando se descubrió que había gastado su fortuna en sus investigaciones en la Oficina Meteorológica, el gobierno compensó a su familia. Pero en unos pocos años, la presión de los marineros aseguró que su sistema de advertencia de tormentas volviera a ser de uso generalizado. Recoger los pronósticos detallados y las advertencias de tormentas para áreas de navegación particulares ahora es una parte esencial del día de cada navegante.

A medida que la tecnología de las comunicaciones mejoraba y agregaba cada vez más detalles a los datos de observación, el valor del sistema de FitzRoy se hizo evidente en el siglo XX.

Pronóstico moderno

Hoy en día, el mundo está salpicado de una red de más de 11.000 estaciones meteorológicas, además de los numerosos satélites, aviones y barcos, todos alimentando información continuamente a un global banco de datos meteorológicos. Potentes supercomputadoras que procesan números producen pronósticos meteorológicos que son, al menos a corto plazo, altamente precisos, y una gran variedad de actividades, desde viajes aéreos hasta eventos deportivos, dependen de ellos.



Habiendo recopilado y considerado debidamente los telegramas irlandeses [o de cualquier otra zona meteorológica], el primer pronóstico para esa se dibuja el distrito... y inmediatamente enviado para su publicación inmediata.

Roberto FitzRoy

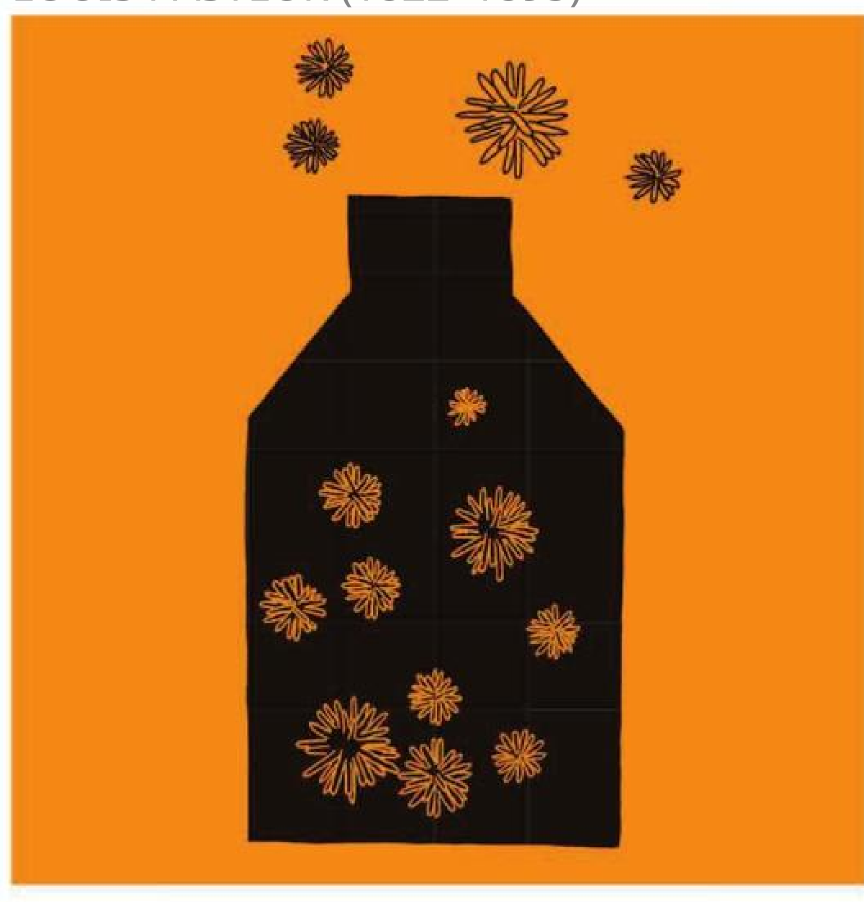




Esta estación meteorológica, ubicado en las remotas montañas de Ucrania, envía datos sobre la temperatura, la humedad y la velocidad del viento vía satélite a las supercomputadoras meteorológicas.

OMNE VIVUM EX VIVO— TODA LA VIDA DE VIDA

LOUIS PASTEUR (1822–1895)



EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
1668francesco redi demuestra que los gusanos surgen de las moscas, y no espontáneamente.

1745 John Needham hierve caldo para matar microbios y cree que se ha producido una generación espontánea cuando vuelven a crecer.

1768 Lazzaro Spallanzani muestra que los microbios no crecen en caldo hervido cuando se excluye el aire.

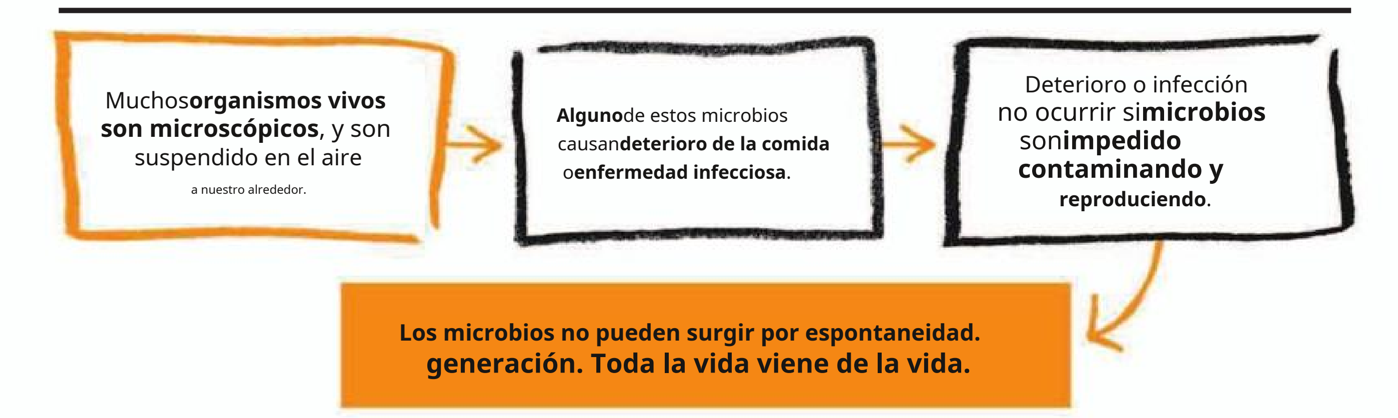
DESPUÉS
1881 Robert Koch aísla microbios que causan enfermedades.

1953 Stanley Miller y Harold Urey crean aminoácidos, esenciales para la vida, en un experimento que simula las condiciones del origen de la vida.

METRO

la biología moderna enseña que los seres vivos sólo pueden surgir de otros seres vivos por un proceso de reproducción. Esto puede parecer evidente hoy en día, pero cuando los principios básicos de la biología estaban en su infancia, muchos científicos se adhirieron a una noción llamada "abiogénesis", la idea de que la vida podría generarse espontáneamente. Mucho después de que Aristóteles afirmara que los organismos vivos podían emerger de la descomposición
materia, algunos incluso creían en métodos que pretendían hacer criaturas a partir de objetos inanimados. En el siglo XVII, por ejemplo, el médico flamenco Jan Baptista von Helmont escribió que el sudor

Ver también: Robert Hooke 54 Harold Antonie van Leeuwenhoek 56–57 Tomás Enrique Huxley 172–73 Urey y Stanley Miller 274–75



la ropa interior y algunos granos de trigo dejados en un frasco al aire libre generarían ratones adultos. La generación espontánea tuvo sus defensores hasta bien entrado el siglo XIX. En 1859, sin embargo, un microbiólogo francés llamado Louis Pasteur ideó un ingenioso experimento que lo desmintió. En el curso de sus estudios, también demostró que las infecciones eran causadas por microbios vivos: gérmenes.

Antes de Pasteur, el vínculo entre la enfermedad o la descomposición y los organismos había sido sospechado pero nunca comprobado. Hasta que los microscopios pudieran probar lo contrario, la idea de que había cosas como pequeñas entidades vivientes que eran invisibles a simple vista parecía fantasiosa. En



En el campo de la experimentación, el azar favorece sólo a los mente preparada.
Luis Pasteur



1546, el médico italiano Girolamo Fracastoro describió "semillas de contagio" y se acercó a la verdad del asunto. Pero no llegó a afirmar explícitamente que eran cosas vivas y reproducibles, y su teoría tuvo poco impacto. En cambio, la gente creía que las enfermedades infecciosas eran causadas por el "miasma", o aire nocivo, que provenía de la materia en descomposición. Sin una idea clara de la naturaleza de los gérmenes como microbios, nadie podía apreciar adecuadamente que la transmisión de infecciones y la propagación de la vida eran, en efecto, dos caras de la misma moneda.

Primeras observaciones científicas

En el siglo XVII, los científicos intentaron rastrear los orígenes de criaturas más grandes mediante el estudio de la reproducción. En 1661, el médico inglés William Harvey (conocido por su descubrimiento de la circulación de la sangre) diseccionó una cierva preñada en un esfuerzo por descubrir el origen de un feto y proclamó "*Omne vivum ex ovo*"—toda la vida de los huevos. No pudo encontrar el huevo de venado en cuestión, pero al menos era un indicio de lo que vendría.

El médico italiano Francesco Redi fue el primero en ofrecer evidencia experimental de la imposibilidad de



Este dibujo de Francesco Redi muestra gusanos que se convierten en moscas. Su trabajo mostró no solo que las moscas provienen de gusanos, sino también que los gusanos provienen de moscas.

generación espontánea, al menos en lo que respecta a las criaturas visibles al ojo humano. En 1668, estudió el proceso por el cual la carne se llena de gusanos. Cubrió un trozo de carne con pergamino y dejó otro expuesto. Sólo la carne expuesta se infectó con gusanos, porque atraía a las moscas, que depositaban sus huevos en él. Redi repitió el experimento con una gasa, que absorbió el olor de la carne y atrajo a las moscas, y demostró que los huevos de mosca extraídos de la gasa podían usarse para "sembrar" carne no infectada con gusanos. Redi argumentó que los gusanos solo podían surgir de

moscas, en lugar de espontáneamente. Sin embargo, no se apreció la importancia del experimento de Redi, e incluso el propio Redi no rechazó por completo la abiogénesis, creyendo que sí ocurrió en ciertas circunstancias.

Entre los primeros fabricantes y usuarios del microscopio para estudios científicos detallados, el científico holandés Antonie van Leeuwenhoek demostró que algunos seres vivos eran tan pequeños que no podían verse a simple vista, y también que la reproducción de criaturas más grandes dependía de microscópicos similares. entidades vivientes, como el esperma.

Sin embargo, la idea de la abiogénesis estaba tan arraigada en la mente de los científicos que muchos todavía pensaban que estos organismos microscópicos eran demasiado pequeños para contener órganos reproductivos y, por lo tanto, debían surgir espontáneamente. En 1745, el naturalista inglés John Needham se dispuso a demostrarlo. Sabía que el calor podía matar los microbios, así que hirvió un poco de salsa de cordero en un matraz, matando así a los microbios, y luego dejó que se enfriara. Después de observar el caldo por un tiempo, vio que los microbios habían regresado. Concluyó que ellos



Tengo la intención de sugerir que no existe tal cosa como la abiogénesis. alguna vez ha tenido lugar en el pasado, o alguna vez tendrá lugar en el futuro.

Thomas Henry Huxley



había surgido espontáneamente del caldo esterilizado. Dos décadas más tarde, el fisiólogo italiano Lazzaro Spallanzani repitió el experimento de Needham, pero demostró que los microbios no volvían a crecer si extraía el aire del matraz. Spallanzani pensó que el aire había "sembrado" el caldo, pero sus críticos propusieron en cambio que el aire era en realidad una "fuerza vital" para la nueva generación de microbios.

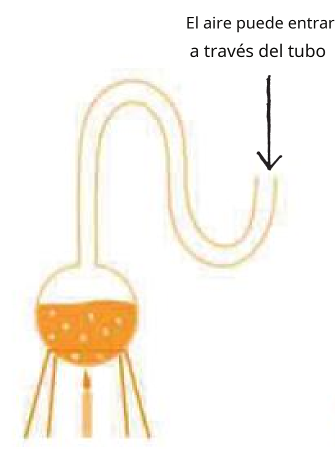
Visto en el contexto de la biología moderna, los resultados de Needham y Spallanzani

Los experimentos se pueden explicar fácilmente. Aunque el calor mata a la mayoría de los microbios, algunas bacterias, por ejemplo, pueden sobrevivir convirtiéndose en esporas latentes resistentes al calor. y la mayoría
Los microbios, como la mayoría de los seres vivos, necesitan oxígeno del aire para obtener energía de su nutrición. Sin embargo, lo más importante es que este tipo de experimentos siempre fueron vulnerables a la contaminación. Los microbios microscópicos en el aire pueden colonizar fácilmente un medio de crecimiento, incluso después de una breve exposición a la atmósfera. Así que, de hecho, ninguno de estos experimentos había abordado de manera concluyente la cuestión de abiogenisis, de una forma u otra.

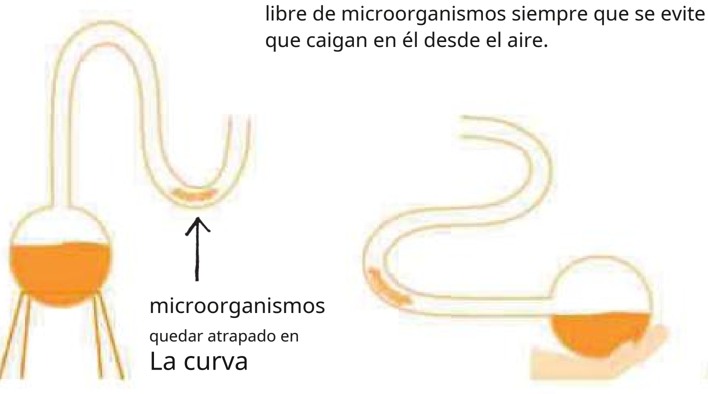
Prueba concluyente

Un siglo después, los microscopios y la microbiología habían avanzado lo suficiente como para poder zanjar el asunto. El experimento de Louis Pasteur demostró que había microbios suspendidos en el aire, listos para infectar cualquier superficie expuesta. Primero, filtró el aire a través del algodón. Luego analizó los filtros de algodón contaminados y examinó el polvo atrapado

El cuello de cisne de Pasteurexperimento demostró que un caldo esterilizado permanecerá libre de microorganismos siempre que se evite que caigan en él desde el aire.



El caldo se hierve para matar cualquier microorganismo que contenga.



Cuando el caldo se enfría queda libre de microorganismos



Inclinar el tubo permite que los microorganismos regresen en el caldo.



los microorganismos multiplicar rápidamente de nuevo.

con un microscopio Descubrió que estaba repleto del tipo de microbios que se habían relacionado con la descomposición y el deterioro de los alimentos. Parecía que la infección se produjo cuando los microbios literalmente cayeron del aire. Esta fue la información crítica que Pasteur necesitaba para tener éxito en el siguiente paso, cuando aceptó un desafío presentado por la Academia de Ciencias de Francia para refutar la idea de la generación espontánea de una vez por todas.

Para su experimento, Pasteur hirvió caldo rico en nutrientes, tal como lo habían hecho Needham y Spallanzani un siglo antes, pero esta vez hizo una modificación crítica en el matraz. Calentó el cuello del matraz para ablandar el vidrio, luego sacó el vidrio hacia afuera y hacia abajo para formar un tubo en forma de cuello de cisne. Cuando la configuración se enfrió, el tubo se dirigió parcialmente hacia abajo para que los microbios no pudieran caer sobre el caldo, aunque la temperatura ahora era adecuada para su crecimiento y había abundante oxígeno ya que el tubo se comunicaba con el aire exterior. La única forma en que los microbios podían volver a crecer en el matraz era espontáneamente, y esto no sucedió.

Como prueba final de que los microbios necesitaban contaminar el caldo del aire, Pasteur repitió el experimento, pero rompió el tubo con cuello de cisne. El caldo se infectó: finalmente había desmentido la generación espontánea, y había demostrado que toda vida procedía de la vida. Estaba claro que los microbios no podían aparecer más espontáneamente en un frasco de caldo que los ratones en un frasco sucio.

Vuelve la abiogénesis

En 1870, el biólogo inglés Thomas Henry Huxley defendió
El trabajo de Pasteur en una conferencia titulada “biogénesis y abiogénesis”.

Fue un golpe demoledor para los últimos devotos de la generación espontánea y marcó el nacimiento de una nueva biología sólidamente fundada en las disciplinas de la teoría celular, la bioquímica y la genética. En la década de 1880, el médico alemán Robert Koch había demostrado que la enfermedad del ántrax era transmitida por bacterias infecciosas.

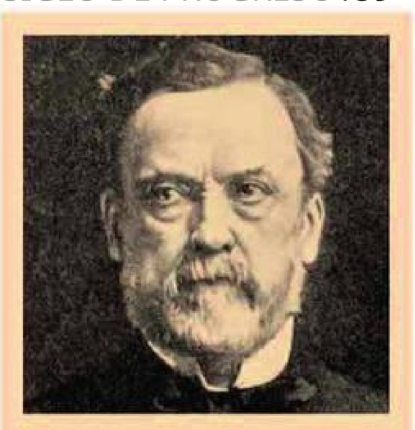
Sin embargo, casi un siglo después del discurso de Huxley, la abiogénesis volvería a centrar las mentes de una nueva generación de científicos que comenzaron a hacer preguntas sobre el origen de la primera vida en la Tierra. En 1953, los químicos estadounidenses Stanley Miller y Harold Urey enviaron chispas eléctricas a través de una mezcla de agua, amoníaco, metano e hidrógeno para simular las condiciones atmosféricas en los albores de la vida en la Tierra. En cuestión de semanas, habían creado aminoácidos, los componentes básicos de las proteínas y los constituyentes químicos clave de las células vivas. El experimento de Miller y Urey desencadenó un resurgimiento del trabajo dirigido a mostrar que los organismos vivos pueden emerger de

materia no viva, pero esta vez los científicos estaban equipados con las herramientas de la bioquímica y la comprensión de los procesos que tuvieron lugar hace miles de millones de años.



Observo los hechos solo;
Sólo busco las condiciones
científicas bajo las cuales
la vida se manifiesta.
Luis Pasteur





Luis Pasteur

Nacido en una familia francesa pobre en 1822, Louis Pasteur se convirtió en una figura tan destacada en el mundo de la ciencia que, tras su muerte, se le ofreció un funeral de estado completo. Tras formarse en química y medicina, su trayectoria profesional

incluye puestos académicos en las universidades francesas de Estrasburgo y Lille.

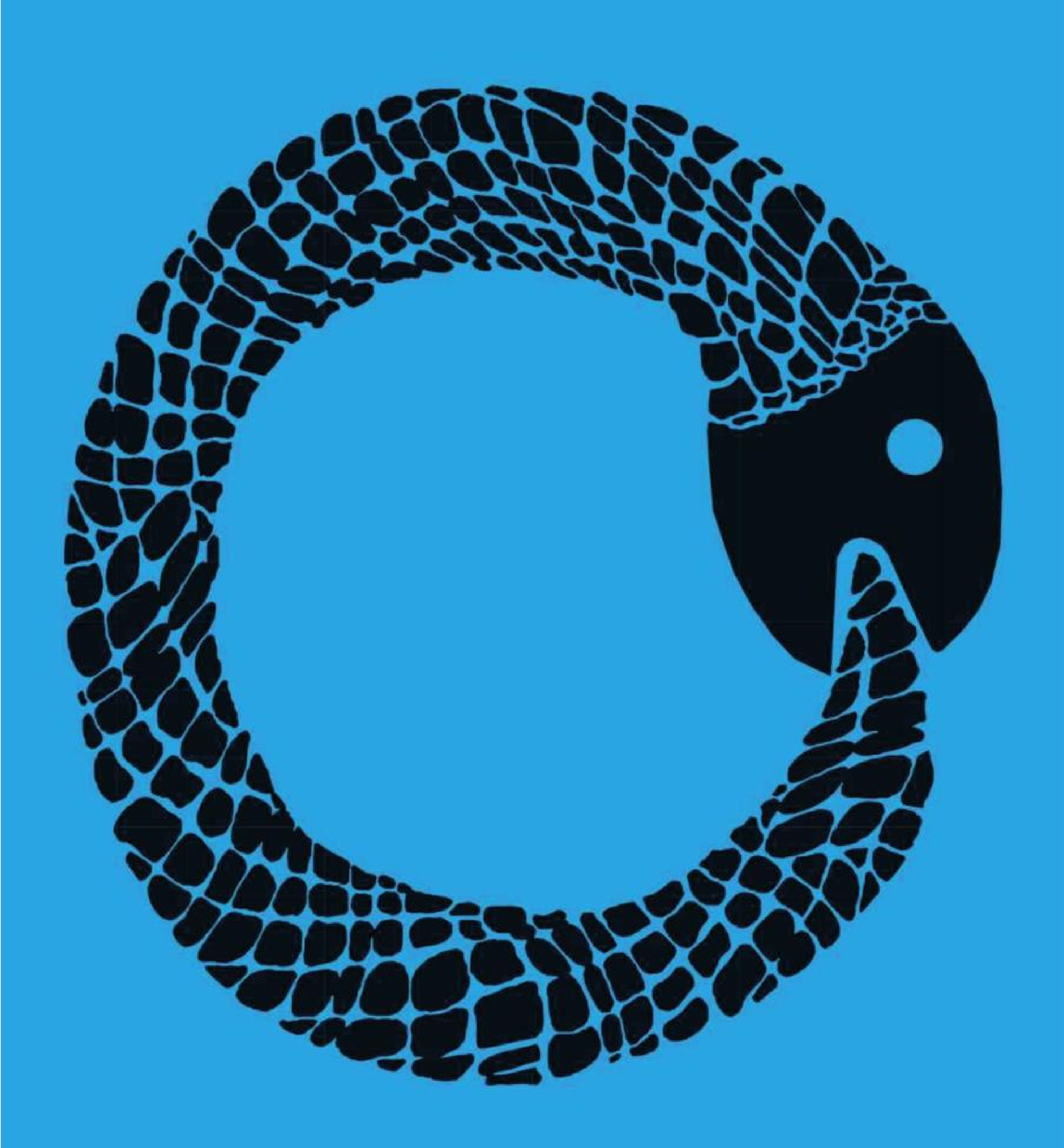
Su primera investigación fue sobre cristales químicos, pero es más conocido en el campo de la microbiología. Pasteur demostró que los microbios convertían el vino en vinagre y leche agria, y desarrollaron un proceso de tratamiento térmico que los mató, conocido como pasteurización. Su trabajo sobre los microbios ayudó a desarrollar la teoría moderna de los gérmenes: la idea de que algunos microbios causaban enfermedades infecciosas. Más adelante en su carrera, él desarrolló varias vacunas y estableció el Institut Pasteur dedicado al estudio de la microbiología, que prospera hasta el día de hoy.

Trabajos clave

1866 *Estudios sobre el Vino* **1868** *Estudios sobre el vinagre* **1878** *Microbios: sus funciones en la fermentación, la putrefacción y el contagio*

UNA DE LAS SERPIENTES
AGARRADO
SU PROPIA COLA

AGOSTO KEKULÉ (1829–1896)



EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES
1852eduardo frankland introduce la idea de valencia — el número de enlaces que un átomo puede formar con otros átomos.

1858 Archibald Couper sugiere que los átomos de carbono pueden unirse directamente entre sí, formando cadenas.

DESPUÉS
1858 El químico italiano Stanislao Cannizzaro explica el diferencia entre átomos y moléculas, y publica los pesos atómicos y moleculares.

1869 Dmitri Mendeleev establece la tabla periódica.

1931 Linus Pauling aclara la estructura del enlace químico en general, y la de la molécula de benceno en particular, utilizando las ideas de la mecánica cuántica.

T Los primeros años del siglo XIX vieron grandes desarrollos en la química. eso cambió fundamentalmente la visión científica de la materia. En 1803, John Dalton sugirió que cada elemento estaba formado por átomos que son exclusivos de ese elemento y utilizó el concepto de peso atómico para explicar cómo los elementos siempre se combinan entre sí en proporciones enteras. Jöns Jakob Berzelius estudió 2000 compuestos para investigar estas proporciones.

Inventó el sistema de nombres que usamos hoy en día (H para hidrógeno, C para carbono, etc.) y compiló una lista de pesos atómicos para los 40 elementos que se conocían entonces.

También acuñó el término “química orgánica” para la química de los organismos vivos; más tarde, el término pasó a significar la mayor parte de la química relacionada con el carbono. En 1809, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac explicó cómo los gases se combinan en proporciones simples por volumen, y dos años más tarde el italiano Amedeo Avogadro sugirió que volúmenes iguales de gas contienen el mismo número de moléculas. Estaba claro que había reglas estrictas que regían la combinación de los elementos. Los átomos y las moléculas seguían siendo conceptos esencialmente teóricos que nadie había visto directamente, pero eran conceptos con un poder explicativo creciente.



Pasé una parte de la noche poniendo al menos bocetos de esas cavilaciones en papel. Así es la estructura surgió la teoría.
Friedrich August Kekule



Valencia

En 1852, el químico inglés Edward Frankland dio el primer paso hacia la comprensión de cómo se combinan los átomos entre sí, quien introdujo la idea de valencia, que es el número de átomos con los que se puede combinar cada átomo de un elemento. El hidrógeno tiene una valencia de uno; el oxigeno tiene

Elá**tomos**de cada elemento puede **combinar con otros átomos**en un número determinado de maneras. Esto es llamado**valencia**.

Átomos de carbóntener una valencia de**cuatro**.

En las moléculas de benceno,**Átomos de carbón**vínculo con unos a otros**formar anillos**, sobre el que se unen los átomos de hidrógeno.

Esta estructura vino a Kekulé en una visión de una serpiente agarrando su propia cola.

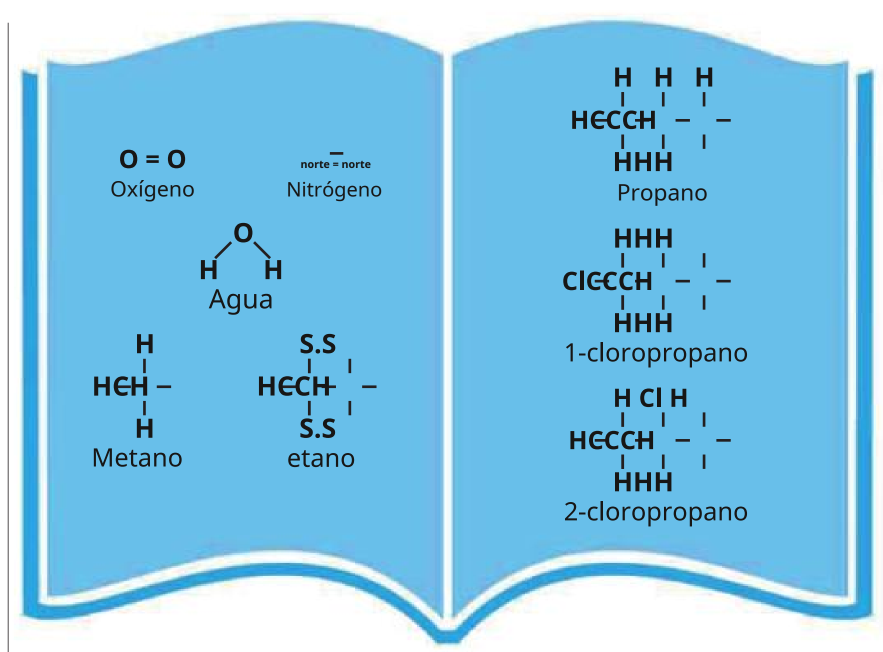
Ver también: Robert Boyle 46–49 · José negro 76–77 Enrique Cavendish 78–79 · José Priestley 82–83 · Antoine Lavoisier 84 · Juan Dalton 112–13 Humphry Davy 114 · Linus Pauling 254-59 Harry Kroto 320–21

una valencia de dos. Luego, en 1858, el químico británico Archibald Couper sugirió que se formaban enlaces entre átomos de carbono que se autoenlazaban y que las moléculas eran cadenas de átomos unidos entre sí. Entonces, el agua, que se sabía que constaba de dos partes de hidrógeno por una de oxígeno, podría representarse como H_2O, o H–O–H, donde "–" significa un vínculo. El carbono tiene una valencia de cuatro, lo que lo hace tetravalente, por lo que un átomo de carbono puede formar cuatro enlaces, como en el metano (CH_4), donde los átomos de hidrógeno están dispuestos en un tetraedro alrededor del carbono. (Hoy, los químicos piensan que un enlace representa un par de electrones compartidos entre dos átomos, y los símbolos H, O y C representan la parte central del átomo apropiado).

Couper trabajaba en ese momento en un laboratorio en París. Mientras tanto, en Heidelberg, Alemania, a August Kekulé se le ocurrió la misma idea, anunciando en 1857 que el carbono tiene una valencia de cuatro, y a principios de 1858 que los átomos de carbono pueden unirse entre sí. La publicación del artículo de Couper se había retrasado, lo que permitió a Kekulé publicarlo un mes antes que él y reclamar prioridad para la idea de los átomos de carbono autoenlazados. Kekulé llamó a los enlaces entre átomos "afinidades", y explicó sus ideas con mayor detalle en su popular *libro de texto de química orgánica*, que apareció por primera vez en 1859.

compuestos de carbono

Descubriendo modelos teóricos basados en evidencia de reacciones químicas, Kekulé declaró que los átomos de carbono tetravalentes podrían unirse para formar lo que él llamó un "esqueleto de carbono", al que se unen otros átomos con otras valencias (como



Kekuléusó el concepto de valencia para describir los enlaces que se forman entre los átomos para formar varias moléculas. Aquí, cada bono está representado por una línea.

hidrógeno, oxígeno y cloro) podrían unirse. De repente, la química orgánica empezó a tener sentido y los químicos asignaron fórmulas estructurales a todo tipo de moléculas.

Hidrocarburos simples como el metano (CH_4), etano (C_2H_6), y propano (C_3H_8) ahora se veían como cadenas de átomos de carbono donde las valencias libres estaban ocupadas por átomos de hidrógeno. Hacer reaccionar un compuesto de este tipo con, por ejemplo, cloro (Cl_2) produjeron compuestos en los que uno o más de los átomos de hidrógeno fueron reemplazados por átomos de cloro, formando compuestos como el clorometano o el cloroetano. Una característica de esta sustitución era que el cloropropano se presentaba en dos formas distintas, ya sea 1-cloropropano o 2-cloropropano, dependiendo de si el cloro estaba unido al átomo de carbono central o a uno de los átomos de carbono finales.

(ver el diagrama de arriba). Algunos compuestos necesitan dobles enlaces para satisfacer las valencias de los átomos: la molécula de oxígeno (O_2), por ejemplo, y la molécula de etileno (C_2H_4). El etileno reacciona con el cloro y el resultado no es sustitución sino adición. El cloro se agrega a través del doble enlace para formar 1,2 dicloroetano ($C_2H_4cl_2$). Algunos compuestos incluso tienen enlaces triples, incluida la molécula de nitrógeno (N_2) y acetileno (C_2H_2), que es altamente reactivo y se utiliza en sopletes de soldadura de oxiacetileno.

El benceno, sin embargo, siguió siendo un rompecabezas. Resultó tener la fórmula C_6H_6, pero es mucho menos reactivo que el acetileno, aunque ambos compuestos tienen el mismo número de átomos de carbono e hidrógeno. ideando un--

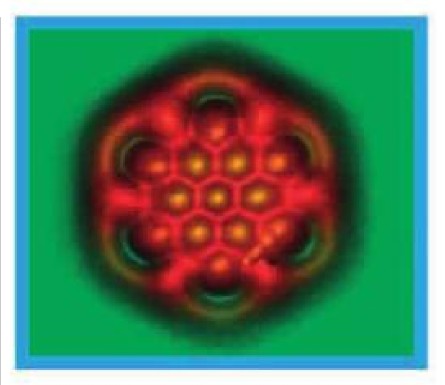
estructura lineal que no era altamente reactiva era un verdadero enigma. Claramente tenía que haber dobles enlaces, pero cómo estaban dispuestos era un misterio.

Además, el benceno reacciona con el cloro no por adición (como el etileno) sino por sustitución: un átomo de cloro reemplaza a un átomo de hidrógeno. Cuando uno de los átomos de hidrógeno del benceno se sustituye por un átomo de cloro, el resultado es un solo compuesto C $_6H_5Cl$, clorobenceno. Esto parecía mostrar que todos los átomos de carbono eran equivalentes, ya que el átomo de cloro podía estar unido a cualquiera de ellos.

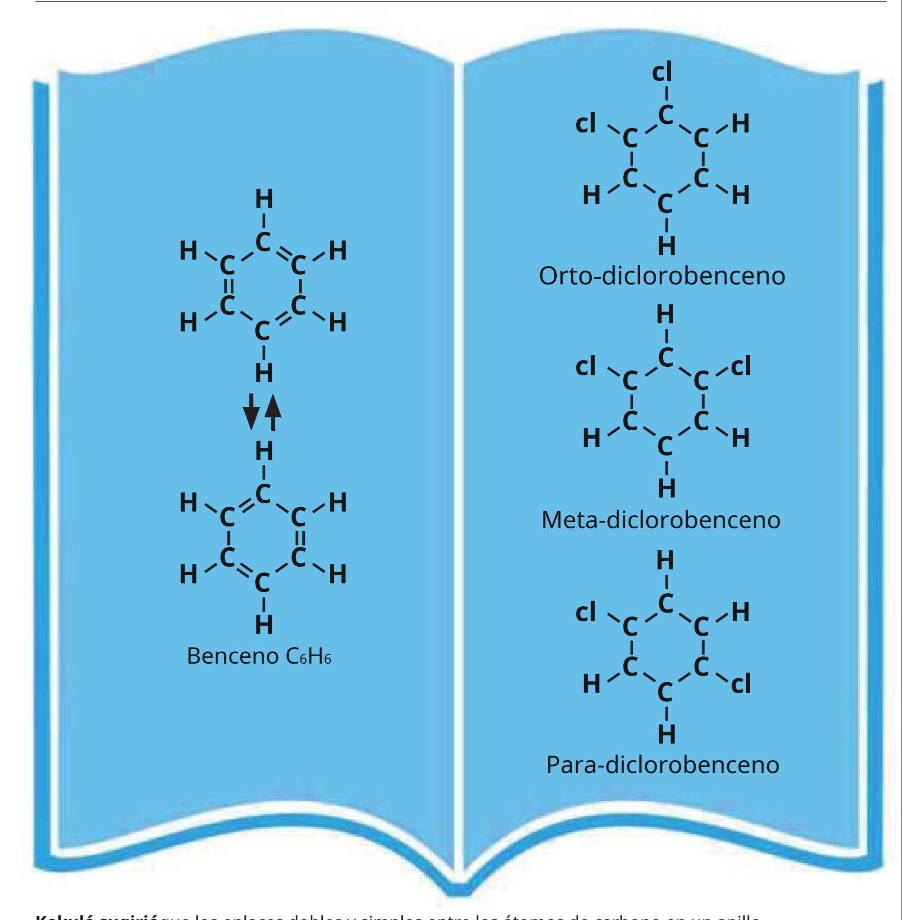
Anillos de benceno

La solución al enigma de la estructura del benceno le llegó a Kekulé en 1865 en un sueño. La respuesta fue un anillo de átomos de carbono, un anillo en el que los seis átomos eran iguales, con un átomo de hidrógeno unido a cada uno. Esto significaba que el cloro del clorobenceno podía adherirse a cualquier parte del anillo.

El apoyo adicional para esta teoría provino de la sustitución de hidrógeno dos veces, para hacer diclorobenceno ($C_6H_4Cl_2$). Si el benceno es un anillo de seis miembros con todos los átomos de carbono iguales, debería haber tres formas distintas, o "isómeros", de este compuesto: los dos átomos de cloro.



Esta imagende una molécula de hexabenzocoroneno fue capturada utilizando un microscopio de fuerza atómica. Tiene un diámetro de 1,4 nanómetros y muestra enlaces carbono-carbono de diferentes longitudes.



Kekulé sugirióque los enlaces dobles y simples entre los átomos de carbono en un anillo de benceno se alternan (izquierda). Dos átomos de cloro pueden sustituir a dos de los átomos de hidrógeno de tres maneras diferentes (derecha).

podría estar en átomos de carbono adyacentes, en átomos de carbono separados por otro carbono o en extremos opuestos del anillo. Este resultó ser el caso, y los tres isómeros se denominaron orto-, meta- y paradiclorobenceno respectivamente.

Estableciendo simetría

Aún quedaba un misterio sin resolver sobre la simetría observada del anillo de benceno. Satisfacer su tetravalencia, cada átomo de carbono debe tener cuatro enlaces con otros átomos. Esto significaba que todos tenían un bono "de repuesto". Al principio, Kekulé dibujó enlaces simples y dobles alternados alrededor del anillo, pero cuando se hizo evidente que el anillo tenía que ser simétrico, sugirió que la molécula oscilaba entre las dos estructuras.

El electrón no se descubrió hasta 1896. La idea de que los enlaces se forman al compartir electrones fue propuesta por primera vez por el químico estadounidense GN Wilson en 1916. En la década de 1930, Linus Pauling utilizó la mecánica cuántica para explicar que los seis electrones libres en el anillo de benceno no se localizan en dobles enlaces, sino



Kekulédescribió el momento en que formuló su teoría de los anillos de benceno como una visión onírica, en la que vio una serpiente mordiéndose la cola como en el antiguo símbolo del uroboros, que se representa aquí como un dragón.

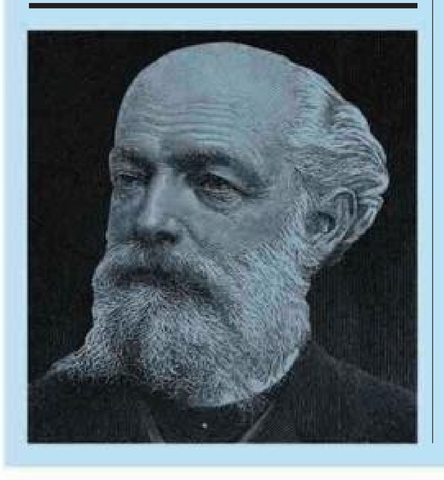
están deslocalizados alrededor del anillo y compartidos por igual entre los átomos de carbono, de modo que los enlaces carbono-carbono no son simples ni dobles, sino 1,5 (véanse las páginas 254-59). Se necesitarían estas nuevas ideas de la física para resolver finalmente el rompecabezas de la estructura de la molécula de benceno.

Sueño de inspiración

El informe de Kekulé sobre su sueño es el relato personal más citado de un destello de inspiración en toda la ciencia. Parece que estaba en un estado hipnagógico, al borde de irse a dormir: ese estado en el que la realidad y la imaginación se deslizan entre sí. Él lo describió como *halbschlaf,*o medio dormido. De hecho, describe dos de esos ensueños: el primero, probablemente en 1855, en lo alto de un autobús en el sur de Londres, en dirección a Clapham Road. “Los átomos revolotearon ante mis ojos. Siempre había visto estas diminutas partículas en movimiento, pero nunca había logrado comprenderlas. la forma de su movimiento. Hoy vi con qué frecuencia dos más pequeños se unían en un par; cómo los más grandes engulleron a dos más pequeños, los aún más grandes unieron a tres y hasta a cuatro de los pequeños.”

La segunda ocasión fue en su estudio en Gante en Bélgica, posiblemente inspirado en el antiguo símbolo de uróboros de una serpiente que se muerde la cola: “Sucedió lo mismo con la teoría del anillo de benceno... Giré la silla para quedar frente a la chimenea y me deslicé en un estado lánguido... Los átomos revoloteaban ante mis ojos... Largas filas, frecuentemente unidas más densamente; todo en movimiento, serpenteando y girando como serpientes. Y mira, ¿qué fue eso? Una de las serpientes se agarró la cola y la imagen giró burlonamente ante mis ojos”.

agosto kekulé



Friedrich August Kekulé, que se hacía llamar August, nació el 7 de septiembre de 1829 en Darmstadt, ahora en el estado alemán de Hesse. Mientras estaba en la Universidad de Giessen, él abandonó los estudios de arquitectura y se cambió a la química después de escuchar las conferencias de Justus von Liebig. Con el tiempo se convirtió en profesor de química en la Universidad de Bonn.

En 1857 y los años siguientes, Kekulé publicó una serie de artículos sobre la tetravalencia del carbono, el enlace en moléculas orgánicas simples y la estructura del benceno, lo que lo convirtió en el principal artífice de la teoría de la estructura. En 1895, el Kaiser Wilhelm II lo ennobleció y se convirtió en August Kekulé von Stradonitz. Tres de los primeros cinco premios Nobel de química fueron ganados por sus alumnos.

Trabajos clave

1859*libro de texto de química orgánica*
1887*La Química de los Derivados del Benceno o Aromáticos Sustancias*

EL DEFINITIVAMENTE PROMEDIO EXPRESADO

PROPORCIÓN DE TRES A UNO

GREGOR MENDEL (1822–1884)



EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
1760botánico alemán
Josef Kölreuter describe experimentos en el cultivo de plantas de tabaco, pero no explica correctamente sus resultados.

1842 El botánico suizo Carl von Nägeli estudia la división celular y describe cuerpos filiformes que luego se identifican como cromosomas.

1859charles darwin publica su teoría de la evolución por selección natural.

DESPUÉS
1900 Los botánicos Hugo de Vries, Carl Correns y William Bateson al mismo tiempo "redescubrir" las leyes de Mendel.

1910 Thomas Hunt Morgan corrobora las leyes de Mendel y confirma la base cromosómica de la herencia.

In la historia de la comprensión científica, uno de los más grandes de todos los misterios naturales fue el mecanismo de la herencia. El hecho de la herencia se conocía desde que la gente notó que los miembros de la familia eran reconociblemente similares. Las implicaciones prácticas estaban en todas partes, desde la cría de cultivos y ganado en la agricultura hasta el conocimiento de que algunas enfermedades, como la hemofilia, podían transmitirse a los niños. Pero nadie sabía cómo sucedió.

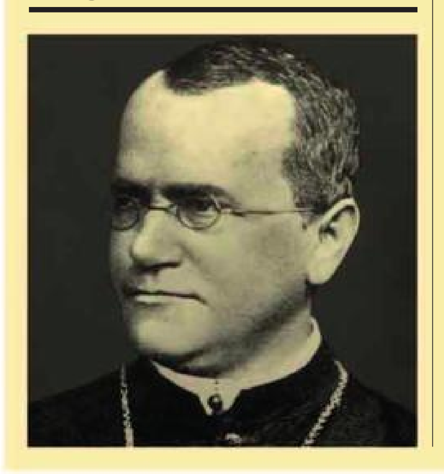
Los filósofos griegos pensaban que había algún tipo de esencia o "principio" material que se transmitía de padres a hijos. Los padres transmitieron el principio a la próxima generación durante las relaciones sexuales; se suponía que se había originado en la sangre, y los principios paternos y maternos se mezclaron para formar una nueva persona. Esta idea persistió durante siglos, principalmente porque a nadie se le ocurrió nada mejor, pero cuando llegó a Charles Darwin, su debilidad fundamental se hizo demasiado clara. La teoría de la evolución por selección natural de Darwin proponía que las especies cambiaban



Características heredadasse había observado durante milenios antes de Mendel, pero el mecanismo biológico que producía fenómenos como los gemelos idénticos era desconocido.

durante muchas generaciones, y al hacerlo dio lugar a la diversidad biológica. Pero si la herencia se basara en la combinación de principios químicos, ¿seguramente la diversidad biológica desaparecería por dilución? Sería como mezclar pinturas de diferentes colores y terminar con gris. Las adaptaciones y novedades sobre las que descansaba la teoría de Darwin no persistirían.

Gregor Mendel



Nacido como Johann Mendel en 1822 en Silesia, en el Imperio austríaco, Mendel se formó inicialmente en matemáticas y filosofía antes de ingresar al sacerdocio como una forma de continuar su educación, cambiando su nombre a Gregor y convirtiéndose en monje agustino. Completó sus estudios en la Universidad de Viena y volvió a enseñar en la abadía de Brno (ahora en República Checa). Aquí, Mendel desarrolló su interés por la herencia y en varias ocasiones estudió ratones, abejas y guisantes. Presionado por el obispo, abandonó el trabajo en animales y concentrado en la cría de guisantes. Fue este trabajo el que lo llevó a idear sus leyes de herencia y desarrollar la idea crítica de que las características heredadas están controladas por partículas discretas, más tarde llamadas genes. Se convirtió en abad del monasterio en 1868 y detuvo su labor científica. A su muerte, sus artículos científicos fueron quemados por su sucesor.

Obra clave

1866*Experimentos en hibridación de plantas*

Ver también: Jean-Baptiste Lamarck 118 · Carlos Darwin 142–49 · Thomas Caza Morgan 224-25 · James Watson y Francis Crick 276–83 · Miguel Syvanen 318–19 · Guillermo Francés Anderson 322–23

el descubrimiento de mendel

El gran avance en la comprensión de la herencia se produjo casi un siglo antes de que se estableciera la estructura química del ADN, y menos de una década después de que Darwin publicara *En el origen de las especies*. Gregor Mendel, un monje agustino en Brno, fue un maestro, científico y matemático que tuvo éxito donde muchos naturalistas más conocidos habían fracasado. Fueron, quizás, las habilidades de Mendel en matemáticas y teoría de la probabilidad las que probaron la diferencia.

Mendel realizó experimentos con el guisante común, *Pisum sativum*. Esta planta varía en varias formas identificables, como la altura, el color de la flor, el color de la semilla y la forma de la semilla. Mendel comenzó a observar la herencia de una característica a la vez y aplicó su mente matemática a los resultados. Al cultivar plantas de guisantes, que se cultivaban fácilmente en los terrenos del monasterio, pudo realizar una serie de experimentos para obtener datos significativos.

Mendel tomó precauciones críticas en su trabajo. Reconociendo que las características pueden saltarse y ocultarse a lo largo de las generaciones, tuvo cuidado de comenzar con plantas de guisantes de origen "puro", como las plantas de flores blancas que solo producían descendencia de flores blancas. Cruzó plantas de flores blancas puras con puras de flores moradas, puras altas con puras bajas, y así sucesivamente. En cada caso, también controló con precisión la fertilización: usando pinzas, transfirió polen de capullos de flores sin abrir para evitar que se dispersaran indiscriminadamente. Realizó estos experimentos de reproducción muchas veces y documentó los números y características de las plantas en la próxima generación, y la generación posterior. Descubrió que las variedades alternativas (como la flor morada y la flor blanca) se heredaban en proporciones fijas. En la primera generación, solo salió una variedad, como la flor morada; en la segunda generación, esta variedad representó las tres cuartas partes de la descendencia. Mendel llamó a esto la variedad dominante. Llamó a la otra variedad la variedad recesiva. En este caso, la flor blanca fue recesiva y constituyó una cuarta parte de las plantas de segunda generación. Para cada característica: alto/bajo; color de la semilla; color de la flor; y semilla forma—fue posible identificar variedades dominantes y recesivas de acuerdo a estas proporciones.

La conclusión clave

Mendel fue más allá y probó la herencia de dos características simultáneamente, como el color de la flor y el color de la semilla. Encontró que la descendencia terminaba con diferentes combinaciones de rasgos y, una vez más, estas combinaciones ocurrió en proporciones fijas. En la primera generación, todas las plantas tenían ambos rasgos dominantes (flor morada, semilla amarilla), pero en la segunda generación hubo una mezcla de combinaciones.



Por ejemplo, una decimosexta parte de las plantas tenían la combinación con ambos rasgos recesivos (flor blanca, semilla verde). Mendel concluyó que las dos características se heredaban independientemente una de la otra. En otras palabras, la herencia del color de la flor no tuvo efecto sobre la herencia del color de la semilla y viceversa. El hecho de que la herencia fuera precisamente proporcional de esta manera llevó a Mendel a concluir que, después de todo, no se debía a la combinación de vagos principios químicos, sino que se debía a "partículas" discretas. Había partículas que controlaban el color de las flores, partículas para el color de las semillas, etc. Estas partículas se transfirieron intactas de padres a hijos. Esto explicaba por qué los rasgos recesivos podían ocultar sus efectos y saltarse una generación: un rasgo recesivo solo se mostraría si una planta heredó dos dosis idénticas de la partícula en cuestión. Hoy reconocemos estas partículas como genes.

genio reconocido

Mendel publicó los resultados de sus hallazgos en una revista de historia natural en 1866, pero su trabajo no logró tener un impacto en el mundo científico en general. La naturaleza esotérica de su título—*Experimentos en Hibridación de Plantas*—podría haber restringido el número de lectores pero, en cualquier caso, se necesitaron más de 30 años para que Mendel fuera debidamente apreciado por lo que había hecho
hecho. En 1900, el botánico holandés Hugo de Vries publicó los resultados de experimentos de fitomejoramiento similares a los de Mendel: incluyendo una corroboración de la proporción de tres a uno. De Vries siguió con un reconocimiento que Mendel había llegado allí primero.



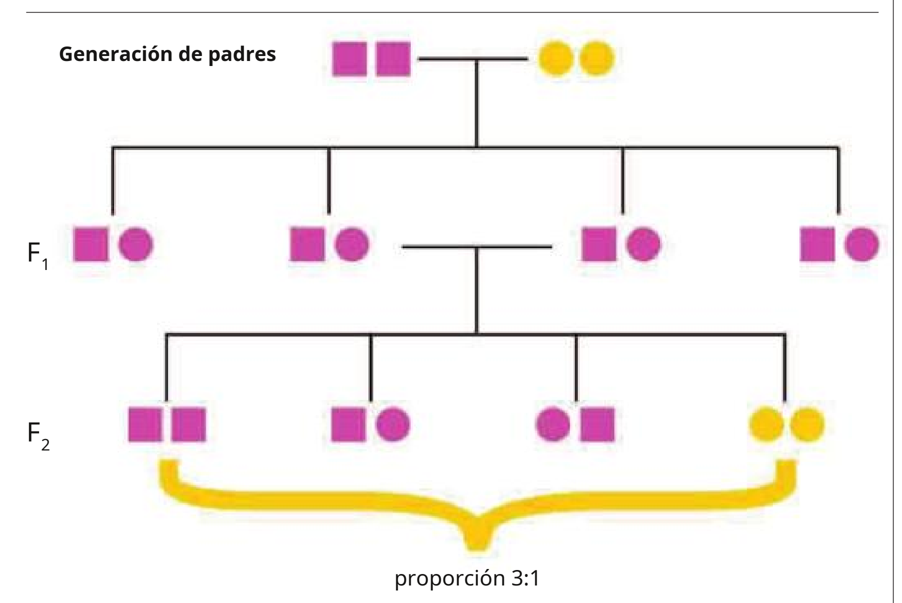
Los rasgos desaparecen por completo en los híbridos, pero reaparecen sin cambios en su progenie.

Gregor Mendel



Unos meses más tarde, el botánico alemán Carl Correns describió explícitamente el mecanismo de herencia de Mendel. Mientras tanto, en Inglaterra, estimulado después de leer los artículos de de Vries y Correns: el biólogo de Cambridge William Bateson leyó el artículo original de Mendel por primera vez e inmediatamente reconoció su importancia. Bateson se convertiría en un campeón de las ideas mendelianas y terminó acuñando el término "genética" para este nuevo campo de la biología. Póstumamente, el monje agustino por fin había sido apreciado.

Para entonces, un trabajo de otro tipo, en los campos de la biología celular y la bioquímica, estaba guiando a los biólogos por nuevas vías de investigación. microscopios estaban reemplazando los experimentos de fitomejoramiento mientras los científicos buscaban pistas mirando directamente dentro de las células. Los biólogos del siglo XIX tenían el presentimiento de que la clave para la herencia residía en el núcleo de la célula. Sin conocer el trabajo de Mendel, en 1878, el alemán Walther Flemming identificó las estructuras filiformes dentro de los núcleos celulares que se movían durante la división celular. Los llamó cromosomas, que significa "cuerpo coloreado". A los pocos años del redescubrimiento



la primera generacionde guisantes (F_1) criados a partir de plantas "puras" de flores blancas y moradas, todos tienen una partícula de cada padre. El morado es dominante, por lo que todas las F_1las flores son moradas. En la segunda generación (F_2), una planta de cada cuatro heredará dos partículas "blancas" y producirá flores blancas.



Hugo de Vriesdescubrió la relación 3:1 de características en experimentos con una variedad de plantas en la década de 1890. Más tarde admitiría que Mendel tenía derecho a la prioridad en el descubrimiento.

del trabajo de Mendel, los biólogos habían demostrado que las "partículas de la herencia" de Mendel eran reales y que fueron transportadas en los cromosomas.

Leyes de herencia refinadas

Mendel había establecido dos leyes de herencia. Primero, las proporciones fijas de características en la descendencia lo llevaron a concluir que las partículas de la herencia venían en pares. Había un par de partículas para el color de la flor, un par para el color de la semilla, y así sucesivamente. Los pares se formaron en la fertilización porque una partícula provino de cada padre y se separaron nuevamente cuando la nueva generación se reprodujo para formar sus propias células sexuales. Si las partículas que se juntan fueran variedades diferentes (como las de flor morada y blanca), solo se expresaría la partícula dominante.

En términos modernos, las diferentes variedades de genes se denominan alelos. Se conoció la primera ley de Mendel como la Ley de Segregación porque los alelos se segregaron para formar células sexuales. segundo de mendel La ley surgió cuando consideró dos características. La Ley de Surtido Independiente sugiere que los genes relevantes para cada rasgo se heredan de forma independiente.

Resulta que la elección de especies de plantas por parte de Mendel fue fortuita. Ahora sabemos que las características de*Pisum sativum*seguir el patrón más simple de herencia. Cada característica, como el color de la flor, está bajo el control de un solo tipo de gen que viene en diferentes variedades (alelos). Sin embargo, muchas características biológicas, como la altura humana, son el resultado de las interacciones de muchos genes diferentes.

Además, los genes Mendel estudió se heredaron de forma independiente. El trabajo posterior demostraría que los genes pueden sentarse uno al lado del otro en el mismo cromosoma. Cada cromosoma lleva cientos o miles de genes en una cadena de ADN. Los pares de cromosomas se separan para crear células sexuales y luego el cromosoma se transmite completo. Esto significa que la herencia de rasgos controlados por diferentes genes en el mismo cromosoma no es independiente. Cada característica del guisante estudiada por

Mendel se debe a un gen en un cromosoma separado. Si hubieran estado en el mismo cromosoma, sus resultados habrían sido más complejos y difíciles de interpretar.

En el siglo XX, la investigación revelaría las excepciones a las leyes de Mendel. A medida que los científicos profundizaron en el comportamiento de los genes y los cromosomas, confirmaron que la herencia puede ocurrir de formas más complicadas que las que había descubierto Mendel. Sin embargo, estos descubrimientos se basan en los hallazgos de Mendel, en lugar de contradecirlos, que sentaron las bases de la genética moderna.



Sugiero... el término Genética, que indica suficientemente que nuestros trabajos están dedicados a la elucidación de los fenomenos de la herencia y variación.

Guillermo Bateson





UN EVOLUTIVO ENLACE ENTRE AVES Y DINOSAURIOS

TOMÁS HENRY HUXLEY (1825–1895)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
1859charles darwin publica*En el origen de las especies*, describiendo su teoría de la evolución.

1860 La primera*Arqueoptérix* fósil, descubierto en Alemania, se vende al Museo de Historia Natural de Londres.

DESPUÉS
1875 El “espécimen de Berlín” de *Arqueoptérix*, con dientes, se encuentra.

1969 El estudio del paleontólogo estadounidense John Ostrom sobre los dinosaurios microraptores destaca nuevas similitudes con las aves.

1996*Sinosauropteryx*, el primer dinosaurio emplumado conocido, se descubre en China.

2005 El biólogo estadounidense Chris Organ muestra la similitud entre el ADN de las aves y el de *tirano-saurio Rex*.

In 1859, Charles Darwin describió su teoría de la evolución por selección natural. En los acalorados debates que siguieron, Thomas Henry Huxley fue el defensor más formidable de las ideas de Darwin, ganándose el sobrenombre de “el bulldog de Darwin”. Más significativamente, el biólogo británico realizó un trabajo pionero en un principio clave en la evidencia de las teorías de Darwin: la idea de que las aves y los dinosaurios son

estrechamente relacionada.

Si la teoría de Darwin de que las especies cambiaron gradualmente en otras era cierta, entonces el registro fósil debería mostrar cómo las especies que eran muy diferentes se habían separado de ellas.

antepasados muy parecidos. En 1860, se encontró un fósil notable en piedra caliza en una cantera alemana. Data del período Jurásico, y fue nombrado*Archaeopteryx litográfica*. Con alas y plumas como las de un pájaro, pero de la época de los dinosaurios, parecía ser un ejemplo del tipo de eslabón perdido entre especies que predecía la teoría de Darwin.

Sin embargo, una muestra no fue suficiente para probar la conexión entre las aves y los dinosaurios, y*Arqueoptérix*



Once fósilesde*Arqueoptérix* han sido descubiertos. Este dinosaurio parecido a un pájaro vivió en el Jurásico Superior, hace unos 150 millones de años, en lo que ahora es el sur de Alemania.

podría haber sido simplemente una de las primeras aves, en lugar de un dinosaurio emplumado. Pero Huxley comenzó a estudiar de cerca la anatomía tanto de las aves como de los dinosaurios y, para él, la evidencia era convincente.

Un fósil de transición

Huxley hizo comparaciones detalladas entre*Arqueoptérix*y varios otros dinosaurios, y descubrió que era muy similar a los pequeños dinosaurios*Hipsilofodón*y *Compsognato*. El descubrimiento, en 1875, de una más completa *Arqueoptérix*fósil, esta vez con dientes de dinosaurio, parecía confirmar la conexión.

Ver también: María Anning 116-17 Carlos Darwin 142–49

Estudios detallados de**fósiles de pequeños dinosaurios**mostrar muchos características en común con**aves**.



Pajaril*Arqueoptérix*los fósiles tienen**dientes**, como los dinosaurios.



El**similitudes entre**la anatomia de**pájaros y dinosaurios** son demasiado grandes para ser una coincidencia.



Hay un vínculo evolutivo entre pájaros y dinosaurios.

Huxley llegó a creer que había un vínculo evolutivo entre las aves y los dinosaurios, pero no imaginó que alguna vez se encontraría un ancestro común. Lo que le importaba eran las similitudes muy claras. Al igual que los reptiles, las aves tienen escamas, las plumas son simplemente desarrollos de escamas y ponen huevos. También tienen una gran cantidad de similitudes en la estructura ósea.

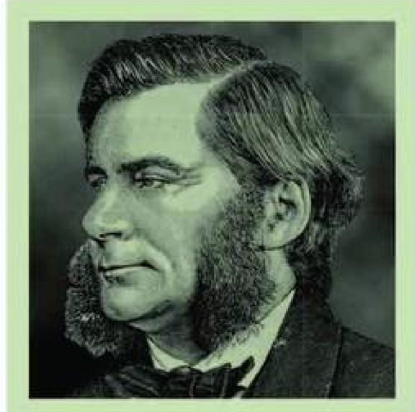
Sin embargo, el vínculo entre los dinosaurios y las aves permaneció en disputa durante otro siglo. Luego, en la década de 1960, los estudios de la rapaz elegante y ágil *Deinonychus*(un pariente de*Velociraptor*) finalmente comenzó a convencer a muchos paleontólogos del vínculo entre las aves y estos microraptores (pequeños dinosaurios depredadores). En los últimos años, una gran cantidad de hallazgos de fósiles de aves antiguas y dinosaurios parecidos a aves en China han fortalecido el vínculo, incluido el descubrimiento en 2005 de un pequeño dinosaurio con patas emplumadas, *Pedopenna*. También ese año, un estudio innovador de ADN extraído del tejido blando fosilizado de un *tirano-saurio Rex* mostró que los dinosaurios son genéticamente más similares a las aves que a otros reptiles.



Las aves son esencialmente similares a los reptiles... estos animales pueden puede decirse que es simplemente un extremadamente modificado y tipo reptiliano aberrante.

Thomas Henry Huxley





Thomas Henry Huxley

Nacido en Londres, Huxley se convirtió en aprendiz de médico a los 13 años. A los 21 años, era cirujano a bordo de un barco de la Royal Navy asignado para trazar los mares alrededor de Australia y Nueva Guinea. Durante el viaje, escribió artículos sobre los invertebrados marinos que recolectó, y estos impresionaron tanto a la Royal Society que fue elegido miembro en 1851. A su regreso en 1854, Huxley se convirtió en profesor de historia natural en la Royal School of Mines.

Después de conocer a Carlos Darwin en 1856, Huxley se convirtió en un firme defensor de las teorías de Darwin. En un debate sobre la evolución realizado en 1860, Huxley ganó el día contra Samuel Wilberforce, obispo de Oxford, quien defendía la creación de Dios. Junto con su trabajo mostrando similitudes entre pájaros y dinosaurios, él recopiló evidencia sobre el tema de los orígenes humanos.

Trabajos clave

1858*La teoría del cráneo de vertebrados*
1863*Evidencia en cuanto al lugar del hombre en la naturaleza*
1880*La mayoría de edad del origen de las especies*

UN APARENTE PERIODICIDAD DE PROPIEDADES

DMITRI MENDELEIEV (1834–1907)



EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES
1803 John Dalton introduce la idea de los pesos atómicos.

1828johann dobereiner intentos de primera clasificación.

1860 Stanislao Cannizzaro publica una extensa tabla de pesos atómicos y moleculares.

DESPUÉS
1913 Lothar Meyer muestra la relación periódica entre elementos trazando el peso atómico contra el volumen.

1913 Henry Moseley redefine la tabla periódica utilizando números atómicos: el número de protones en el núcleo de un átomo.

1913 Niels Bohr sugiere un modelo para la estructura del átomo. Incluye capas de electrones que explican la reactividad relativa de los diferentes grupos de elementos.

In 1661, el físico angloirlandés Robert Boyle definió los elementos como "ciertos cuerpos primitivos y simples, o perfectamente separados; que no estando hechos de ningún otro cuerpo, ni unos de otros, son los ingredientes de los cuales todos los llamados cuerpos perfectamente mezclados se componen inmediatamente, y en los que finalmente se disuelven." En otras palabras, un elemento no puede descomponerse por medios químicos en sustancias más simples.

En 1803, el químico británico John Dalton introdujo la idea de los pesos atómicos (ahora llamados masas atómicas relativas) para estos elementos. El hidrógeno es el elemento más ligero, y él le dio el valor 1, que todavía usamos hoy.

ley de ocho

En la primera mitad del siglo XIX, los químicos aislaron gradualmente más elementos y quedó claro que ciertos grupos de elementos tenían propiedades similares. Por ejemplo, el sodio y el potasio son sólidos plateados (metales alcalinos) que reaccionan violentamente con el agua y liberan hidrógeno gaseoso. De hecho, son tan similares que el químico británico Humphry Davy no los distinguió cuando los descubrió por primera vez. Similarmente, los elementos halógenos cloro y bromo son agentes oxidantes venenosos y picantes, aunque el cloro es un gas y el bromo un líquido. El químico británico John Newlands notó que cuando los elementos conocidos se enumeraban en orden creciente



La primeraintentar una clasificación de los elementos fue el químico alemán Johann Döbereiner. En 1828, descubrió que algunos elementos formaban grupos de tres con propiedades relacionadas.

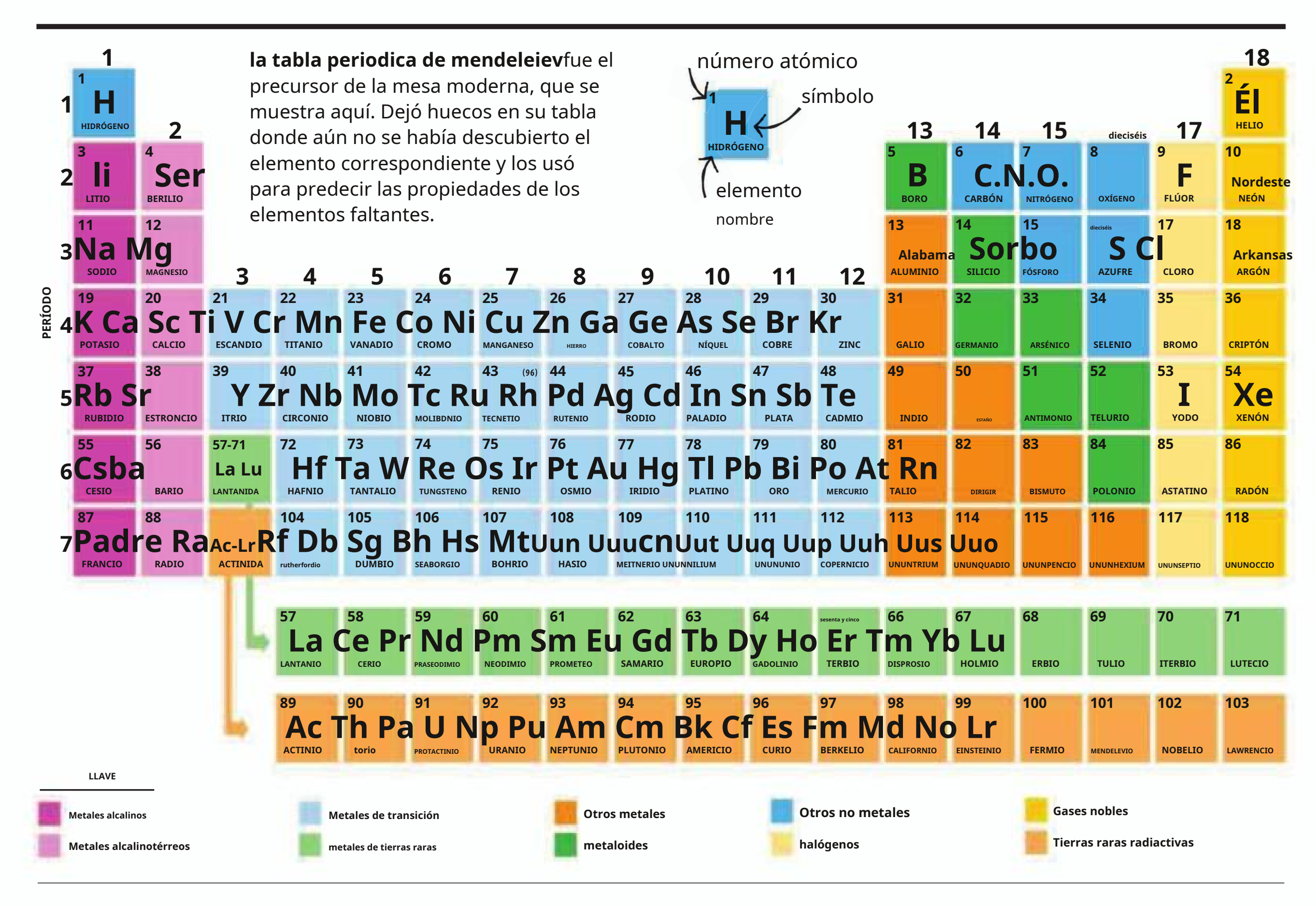
Los elementos se pueden organizar en una mesa**De acuerdo a sus pesos atómicos**.

Suponiendo una periodicidad de propiedades, las predicciones se pueden hacer a partir de las lagunas en un periódico mesa para el**descubrimiento de elementos faltantes**.

El descubrimiento de estos elementos faltantes sugiere que la tabla periódica revela características importantes de la **estructura del atomo**.

La tabla periodica puede ser usado para **guía de experimentos**.

Ver también: Roberto Boyle 46–49 · Juan Dalton 112–13 · Humphry Davy 114 · María Curie 190–95 · Ernest Rutherford 206–13 · Linus Pauling 254-59



peso atómico, elementos similares ocurrieron cada octavo lugar. Publicó sus hallazgos en 1864.

en el diario *Noticias químicas* Newlands escribió: "Los elementos que pertenecen al mismo grupo aparecen en la misma línea horizontal. También los números de elementos similares difieren en siete o en múltiplos de siete... A esta peculiar relación propongo llamarla Ley de las Octavas." Los patrones en su tabla tienen sentido en cuanto al calcio, pero luego se vuelven locos. El 1 de marzo de 1865, Newlands fue ridiculizado por la Sociedad Química, quien dijo que también podría enumerar los elementos en orden alfabético y se negó a publicar su artículo.

La importancia del logro de Newlands no sería reconocida por más de 20 años. Mientras tanto, el mineralogista francés Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois también había notado los patrones y publicó sus ideas en 1862, pero pocas personas se dieron cuenta.

Rompecabezas de cartas

Casi al mismo tiempo, Dmitri Mendeleev estaba luchando con el mismo problema mientras escribía su libro. *Principios de Química* en San Petersburgo, Rusia. En 1863, había 56 elementos conocidos y se estaban descubriendo nuevos a un ritmo de aproximadamente uno por año.

Mendeleev estaba convencido de que debe haber un patrón para ellos. En un esfuerzo por resolver el rompecabezas, hizo un juego de 56 cartas, cada una etiquetada con el nombre y las propiedades principales de un elemento.

Se dice que Mendeleev hizo su gran avance cuando estaba a punto de embarcarse en un viaje de invierno en 1868. Antes de partir, colocó sus cartas sobre la mesa y comenzó a reflexionar sobre el rompecabezas, como si jugara un juego de solitario. Cuando su cochero llegó a la puerta por el equipaje, Mendeleev le indicó que se fuera, diciendo que estaba ocupado. Movió las cartas de un lado a otro hasta que finalmente logró acomodar los 56 elementos a su gusto, con los grupos similares funcionando.

verticalmente Al año siguiente, Mendeleev leyó un artículo en la Sociedad Química Rusa que afirmaba que: "Los elementos, si se ordenan según su peso atómico, exhiben una aparente periodicidad de propiedades". Explicó que los elementos con propiedades químicas similares tienen pesos atómicos que son casi del mismo valor (como el potasio, el iridio y el osmio) o que aumentan regularmente (como el potasio, el rubidio y el cesio). Explicó además que la disposición de los elementos en grupos en el orden de sus pesos atómicos corresponde a su valencia, que es el número de enlaces que los átomos pueden formar con otros átomos.



La función de la ciencia es descubrir la existencia de un reino general de orden en la naturaleza y encontrar las causas que gobiernan este orden.

Dmitri Mendeleiev





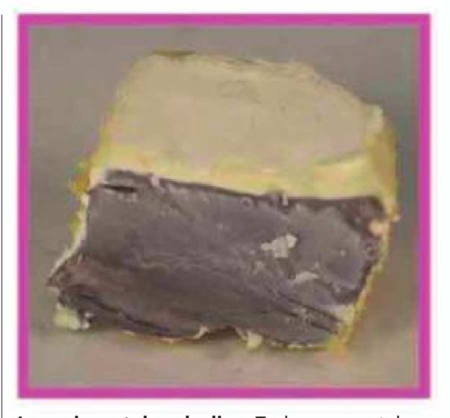
Predecir nuevos elementos

En su artículo, Mendeleev hizo una predicción audaz: "Debemos esperar el descubrimiento de muchos elementos aún desconocidos, por ejemplo, dos elementos, análogos al aluminio y al silicio, cuyos pesos atómicos estarían entre 65 y 75."

El arreglo de Mendeleev incluyó mejoras cruciales sobre las octavas de Newlands. Debajo del boro y el aluminio, Newlands había colocado el cromo, lo que tenía poco sentido. Mendeleev razonó que debe existir un elemento aún no descubierto, y

predijo que se encontraría uno con un peso atómico de alrededor de 68. Formaría un óxido (un compuesto formado por un elemento con oxígeno) con una fórmula química de M_2O_3, donde "M" es el símbolo del nuevo elemento. Esta fórmula significaba que dos átomos del nuevo elemento se combinarían con tres átomos de oxígeno para formar el óxido. Predijo dos elementos más para llenar otros espacios: uno con un peso atómico de alrededor de 45, formando el óxido M_2O_3, y el otro con un peso atómico de 72, formando el óxido MO_2.

Los críticos se mostraron escépticos, pero Mendeleev había hecho afirmaciones muy específicas, y una de las formas más poderosas de apoyar una teoría científica es hacer



Los seis metales alcalinos Todos son metales blandos y altamente reactivos. La capa exterior de este trozo de sodio puro ha reaccionado con el oxígeno del aire para darle una capa de óxido de sodio.

predicciones que se demuestran verdaderas. En este caso, el elemento galio (peso atómico 70, formando el óxido Ga_2O_3) fue descubierto en 1875; escandio (peso 45, Sc_2O_3) en 1879; y germanio (peso 73, GeO_2) en 1886. Estos descubrimientos hicieron la reputación de Mendeleev.

Errores en la tabla

Mendeleev cometió algunos errores. En su artículo de 1869, afirmó que el peso atómico del telurio debe ser incorrecto: debería estar entre 123 y 126, porque el peso atómico del yodo es 127, y el yodo debería seguir claramente al telurio en la tabla.

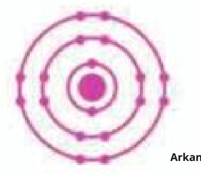
Los seis gases noblesque ocurren naturalmente (enumerados en el grupo 18 de la tabla) son helio, neón, argón, criptón, xenón y radón. Tienen una reactividad química muy baja porque cada uno tiene una capa de valencia completa, una capa de electrones que rodea el núcleo del átomo. El helio tiene solo una capa que contiene dos electrones, mientras que los otros elementos tienen capas exteriores de ocho electrones. El radón radiactivo es inestable.



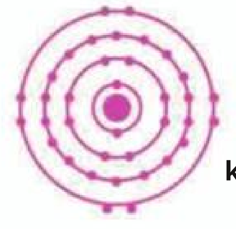
Él



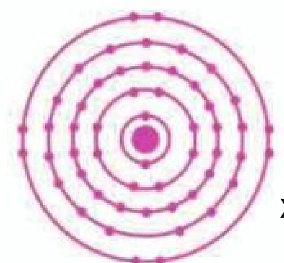
Nordeste



Arkansas



kr



Xe



Núcleo • Electrón

según sus propiedades. Estaba equivocado: el peso atómico relativo del telurio es, de hecho, 127,6; es mayor que la del yodo. Una anomalía similar ocurre entre el potasio (peso 39) y el argón (peso 40), donde el argón precede claramente al potasio en la tabla, pero Mendeleev no estaba al tanto de estos problemas en 1869, porque el argón no se descubrió hasta 1894. El argón es uno de los gases nobles. , que son incoloros, inodoros y apenas reaccionan con otros

elementos. Difícil de detectar, ninguno de los gases nobles se conocía en ese momento, por lo que no había espacios para ellos en la tabla de Mendeleev. Sin embargo, una vez que apareció el argón, hubo varios agujeros más que llenar, y en 1898, el químico escocés William Ramsay había aislado helio, neón, criptón y xenón. En 1902, Mendeleev incorporó los gases nobles en su tabla como Grupo 18, y esta versión de la tabla forma la base de la tabla periódica que usamos hoy.

La anomalía de los pesos atómicos “equivocados” fue resuelta en 1913 por el físico británico Henry Moseley, quien utilizó rayos X para determinar el número de protones en el núcleo de cada átomo de un elemento en particular.



Debemos esperar el descubrimiento de elementos análogos al aluminio y al silicio— cuyo peso atómico sería tener entre 65 y 75 años.
Dmitri Mendeleiev



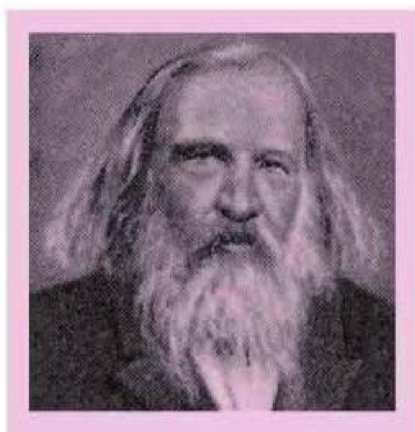
Esto llegó a llamarse el número atómico del elemento, y es este número el que determina la posición del elemento en la tabla periódica. El hecho de que los pesos atómicos hayan dado una aproximación cercana se debe al hecho de que para los elementos más livianos, el peso atómico es aproximadamente (aunque no exactamente) el doble del número atómico.

usando la mesa

La tabla periódica de los elementos puede parecer solo un sistema de catalogación, una forma clara de ordenar los elementos, pero tiene una importancia mucho mayor tanto en química como en física. Permite a los químicos predecir las propiedades de un elemento y probar variaciones en los procesos; por ejemplo, si una reacción en particular no funciona con cromo, tal vez funcione con molibdeno, el elemento debajo del cromo en la tabla.

La mesa también fue crucial en la búsqueda de la estructura del átomo. ¿Por qué las propiedades de los elementos se repiten en estos patrones? ¿Por qué los elementos del Grupo 18 eran tan poco reactivos, mientras que los elementos de los grupos de ambos lados eran los más reactivos de todos? Tales preguntas llevaron directamente a la imagen de la estructura del átomo que ha sido aceptada desde entonces.

Mendeleev tuvo hasta cierto punto la suerte de haber sido acreditado por su mesa. No solo publicó sus ideas después de Béguyer y Newlands, sino que también el químico alemán Lothar Meyer, quien trazó el peso atómico contra el volumen atómico para mostrar la relación periódica entre los elementos, también se adelantó a él, publicando en 1870. Como tantas veces en la ciencia , el momento había llegado para un descubrimiento en particular, y varias personas habían llegado a la misma conclusión de forma independiente, sin conocer el trabajo de los demás.



Dmitri Mendeleiev

El más joven de al menos 12 hijos, Dmitri Mendeleev nació en 1834 en un pueblo de Siberia. Cuando su padre se quedó ciego y perdió su puesto de profesor, la madre de Mendeleev mantuvo a la familia con un negocio de fábrica de vidrio. Cuando eso se agotó, llevó a su hijo de 15 años a través de Rusia a San Petersburgo para recibir una educación superior.

En 1862, Mendeleiev se casó con Feozva Nikitichna Leshcheva, pero en 1876 se obsesionó con Anna Ivanova Popova y se casó con ella antes de que el divorcio de su primera esposa fuera definitivo.

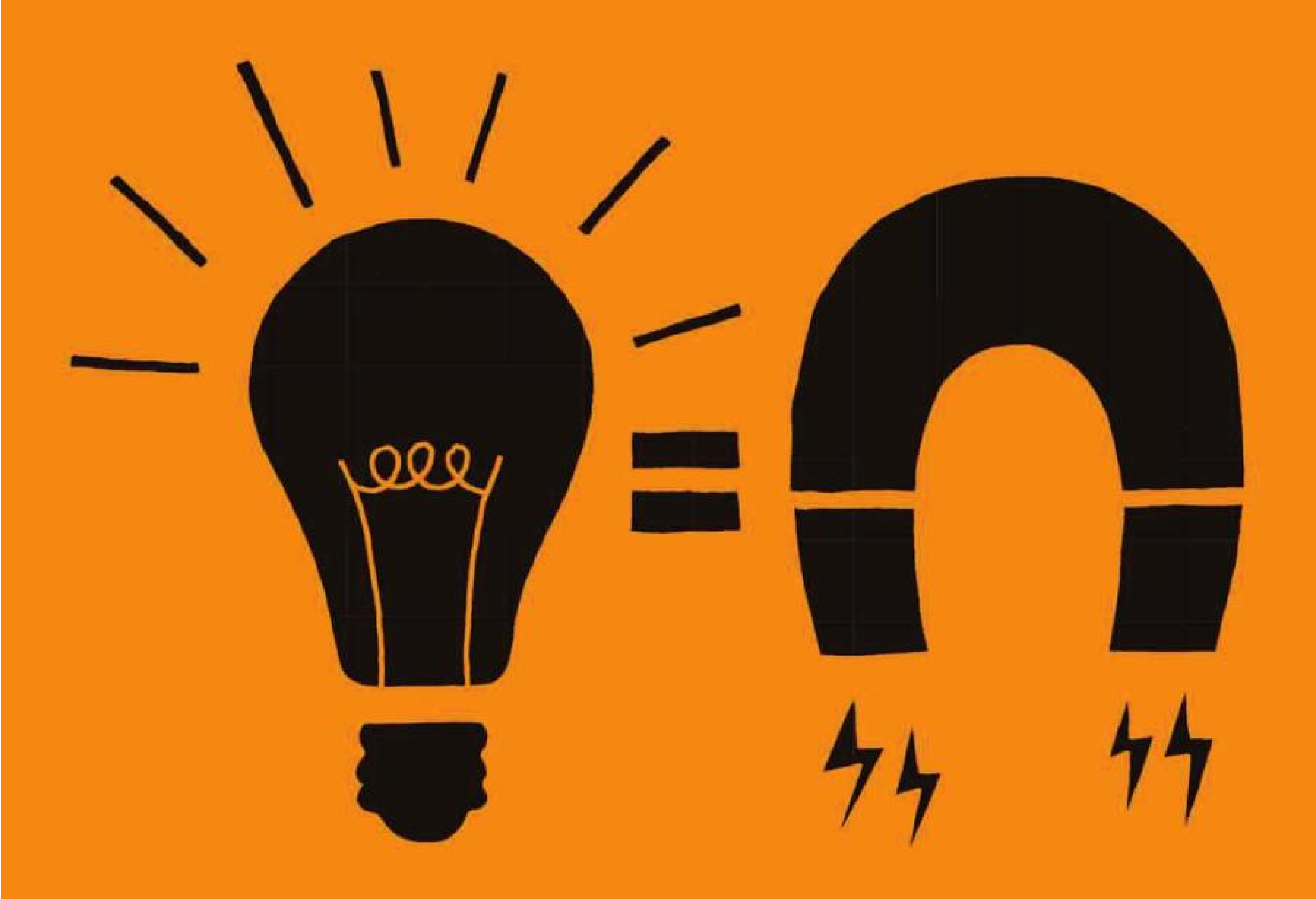
En la década de 1890, Mendeleev organizó nuevos estándares para producir vodka. Investigó la química del petróleo y ayudó a establecer la primera refinería de petróleo de Rusia. En 1905, fue elegido miembro de la Real Academia Sueca de Ciencias, quien lo recomendó para el Premio Nobel, pero su candidatura fue bloqueada, posiblemente debido a su bigamia. el radiactivo el elemento 101 mendelevio se nombra en su honor.

Obra clave

1870 *Principios de Química*

LUZ
Y EL MAGNETISMO SON
AFECCIONES
DE LA MISMA SUSTANCIA

JAMES CLERK MAXWELL (1831–1879)



EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1803 Los experimentos de doble rendija de Thomas Young parecen mostrar que la luz es una onda.

1820 Hans Christian Ørsted demuestra un vínculo entre la electricidad y el magnetismo.

1831 Michael Faraday muestra que un campo magnético cambiante produce un campo eléctrico.

DESPUÉS
1900 Max Planck sugiere que, en algunas circunstancias, la luz puede tratarse como si estuviera compuesta de pequeños "paquetes de ondas" o cuantos.

1905 Albert Einstein demuestra que los cuantos de luz, hoy conocidos como fotones, son reales.

1940ricardo feynman y otros desarrollan la electrodinámica cuántica (QED) para explicar el comportamiento de la luz.

A**campo magnético**puede cambiar el **polarización**de luz.

Esto sugiere que**luz**puede ser un **electromagnético**ola.

Suponiendo que la luz es una onda electromagnética, es posible**formular ecuaciones**para describir matemáticamente el comportamiento de la luz.

El**descubrimiento**de longitud de onda larga **ondas de radio**(también parte de la electromagnética espectro) confirma las ecuaciones.

La luz y el magnetismo son afectaciones. de la misma sustancia.

T La serie de ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento de Los campos electromagnéticos desarrollados por el físico escocés James Clerk Maxwell durante las décadas de 1860 y 1870 se consideran, con razón, uno de los logros más importantes de la historia de la física. Un descubrimiento verdaderamente transformador, no solo revolucionaron la forma en que los científicos veían la electricidad, el magnetismo y la luz, sino que también establecieron las reglas básicas para un estilo completamente nuevo de física matemática. Esto tendría un gran alcance consecuencias en el siglo XX, y hoy ofrece la esperanza de unificar nuestra comprensión del universo en una "Teoría del Todo" integral.

El efecto Faraday

El descubrimiento del físico danés Hans Christian Ørsted, en 1820, de un vínculo entre la electricidad y el magnetismo sentó las bases para un siglo de intentos de descubrir los vínculos e interconexiones entre fenómenos aparentemente inconexos. También inspiró un avance significativo por parte de Michael Faraday. Hoy, Faraday es quizás mejor conocido por su invención del motor eléctrico y el descubrimiento de la inducción electromagnética, pero fue menos célebre descubrimiento que proporcionó el punto de partida de Maxwell.

Durante dos décadas, Faraday había estado intentando, de forma intermitente, encontrar un vínculo entre la luz y el electromagnetismo. Luego, en 1845, ideó un ingenioso experimento que respondió la pregunta de una vez por todas. Se trata de pasar un haz de luz polarizada (uno en el que las ondas oscilan

Ver también: Alejandro Volta 90–95 Hans Christian Ørsted 120 miguel faraday 121 Max Planck 202-05
Albert Einstein 214–21 Ricardo Feynman 272–73 Sheldon Glashow 292–93



La teoría especial de la relatividad debe su origen a la teoría de Maxwell ecuaciones de la campo electromagnetico.
Albert Einstein



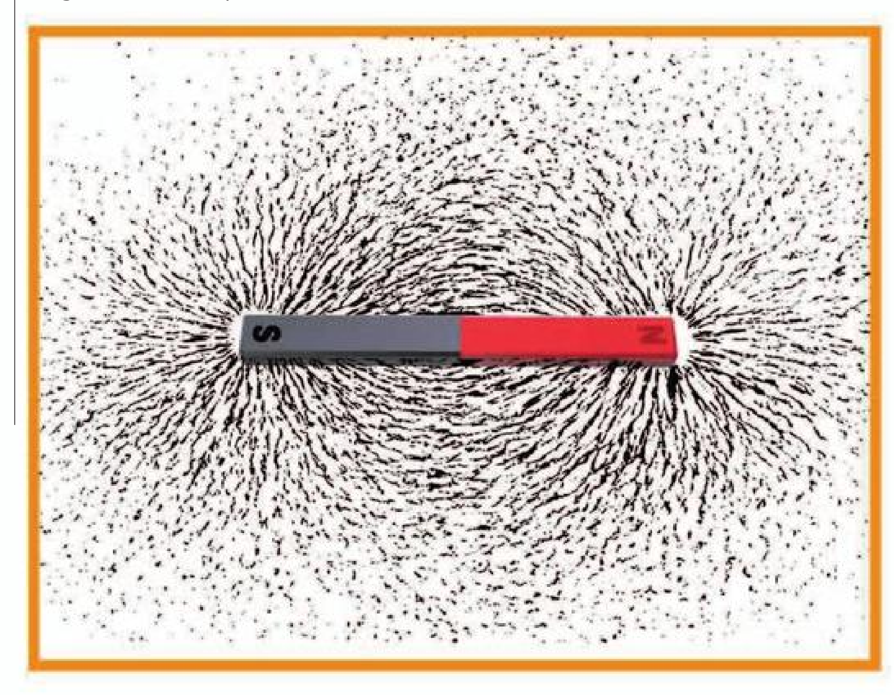
en una sola dirección, que se crea fácilmente haciendo rebotar un haz de luz en una superficie reflectante lisa) a través de un fuerte campo magnético y probando el ángulo de polarización en el otro lado usando un ocular especial. Descubrió que al rotar la orientación del campo magnético, podía afectar el ángulo de polarización de la luz. Basándose en este descubrimiento, Faraday argumentó por primera vez que las ondas de luz eran una especie de ondulación en las líneas de fuerza por las que interpretaba los fenómenos electromagnéticos.

teorías de electromagnetismo

Sin embargo, aunque Faraday fue un experimentador brillante, se necesitó el genio de Maxwell para poner esta idea intuitiva sobre una base teórica sólida. Maxwell llegó al problema desde el punto de vista opuesto dirección, descubriendo el vínculo entre la electricidad, el magnetismo y la luz casi por accidente.

La principal preocupación de Maxwell fue explicar cómo operaban las fuerzas electromagnéticas involucradas en fenómenos como la inducción de Faraday, donde un imán en movimiento induce una corriente eléctrica. Faraday había inventado la ingeniosa idea de las "líneas de fuerza", extendiéndose en anillos concéntricos alrededor de corrientes eléctricas en movimiento, o emergiendo y volviendo a entrar en los polos de los imanes. Cuando los conductores eléctricos se movían en relación con estas líneas, las corrientes fluían dentro de ellos. La densidad de la las líneas de fuerza y la velocidad del movimiento relativo influyeron en la fuerza de la corriente.

Pero si bien las líneas de fuerza fueron una ayuda útil para comprender el fenómeno, no tenían una existencia física: los campos eléctricos y magnéticos hacen que su presencia sentida en cada punto del espacio que se encuentra dentro de su rango de influencia, no solo cuando se cortan ciertas líneas. Los científicos que intentaron describir la física del electromagnetismo tendieron a caer en una de dos escuelas: aquellos que veían el electromagnetismo como alguna forma de "acción a distancia" similar al modelo de gravedad de Newton, y aquellos que creían que el electromagnetismo se propagaba a través del espacio por ondas. En general, los partidarios de la “acción a distancia” provenían de la Europa continental y seguían las teorías del pionero eléctrico André-Marie Ampère (p.120), mientras que los creyentes en las ondas solían ser británicos. Una forma clara de distinguir entre las dos teorías básicas era que la acción a distancia tendría lugar instantáneamente, mientras que las ondas inevitablemente tardarían algún tiempo en propagarse por el espacio.



El patrón de las limaduras de hierro. alrededor de un imán parecería sugerir las líneas de fuerza descritas por Faraday. De hecho, muestran la dirección de la fuerza experimentada por una carga en un punto dado en un campo electromagnético, como se representa en las ecuaciones de Maxwell.

modelos de Maxwell

Maxwell comenzó a desarrollar su teoría del electromagnetismo en un par de artículos publicados en 1855 y 1856. Estos fueron un intento de modelar geométricamente las líneas de fuerza de Faraday en términos del flujo en un fluido (hipotético) incompresible. Tuvo un éxito limitado y en artículos posteriores intentó un enfoque alternativo, modelando el campo como una serie de partículas y vórtices giratorios. Por analogía, Maxwell pudo demostrar la ley del circuito de Ampère, que relaciona la corriente eléctrica que pasa a través de un bucle conductor con el campo magnético que lo rodea. Maxwell también mostró que en este modelo, los cambios en el campo electromagnético se propagarían a una velocidad finita (aunque alta).

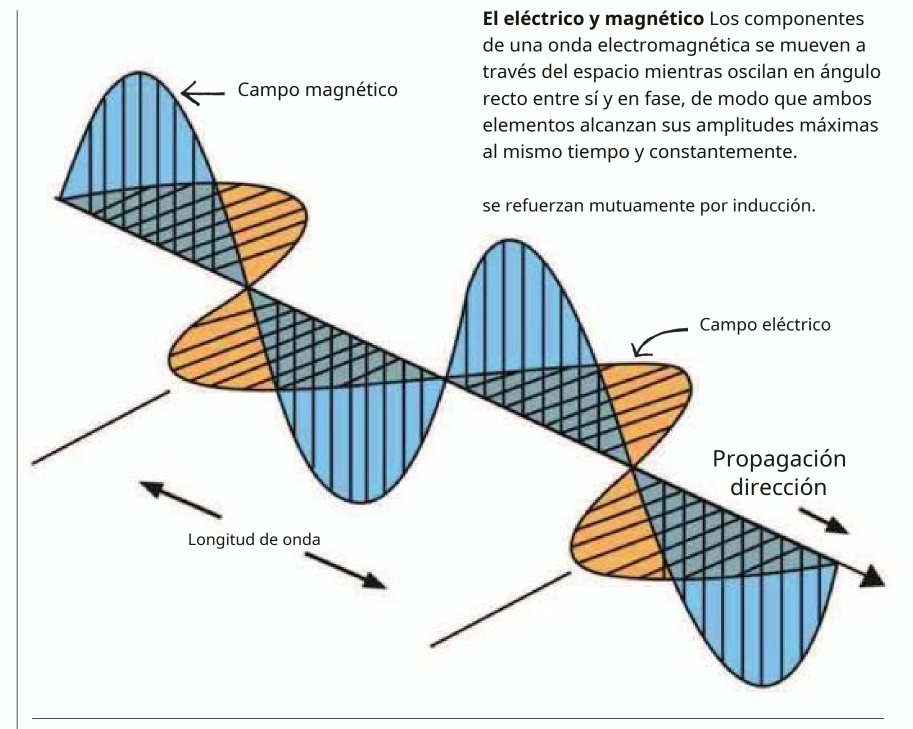
Maxwell derivó un valor aproximado para la velocidad de propagación, aproximadamente 193,060 millas/s (310.700 km/s). Este valor era tan sospechosamente cercano a la velocidad de la luz medida en numerosos experimentos que inmediatamente se dio cuenta de que la intuición de Faraday sobre la naturaleza de la luz debía ser correcta. En el artículo final de la serie, Maxwell describió cómo



Desde una perspectiva larga de la historia de la humanidad... no puede haber duda de que la mayoría evento significativo del siglo 19 será juzgado como el descubrimiento de Maxwell del leyes de la electrodinámica.

ricardo feynman





El eléctrico y magnético Los componentes de una onda electromagnética se mueven a través del espacio mientras oscilan en ángulo recto entre sí y en fase, de modo que ambos elementos alcanzan sus amplitudes máximas al mismo tiempo y constantemente.

se refuerzan mutuamente por inducción.

el magnetismo podría afectar la orientación de una onda electromagnética como se ve en el efecto Faraday.

Desarrollo de las ecuaciones

Satisfecho de que los elementos esenciales de su teoría fueran correctos, Maxwell se dispuso en 1864 a ponerla sobre una base matemática sólida.

En *Una teoría dinámica del campo electromagnético*, describió la luz como un par de ondas transversales eléctricas y magnéticas, orientados perpendicularmente entre sí y bloqueados en fase de tal manera que los cambios en el campo eléctrico refuerzan el campo magnético, y viceversa (la orientación de la onda eléctrica es la que normalmente determina la polarización general de la onda). En la última parte de su artículo, presentó una serie de 20 ecuaciones que ofrecían una descripción matemática completa de los fenómenos electromagnéticos en términos de potenciales eléctricos y magnéticos, en otras palabras, la cantidad de energía potencial eléctrica o magnética que experimentaría una carga puntual en un punto específico del campo electromagnético.

Maxwell continuó mostrando cómo las ondas electromagnéticas que se mueven a la velocidad de la luz surgieron naturalmente de las ecuaciones, resolviendo aparentemente el debate sobre la naturaleza del electromagnetismo de una vez por todas.

Resumió su trabajo sobre el tema en el 1873 *Tratado de Electricidad y Magnetismo*, pero, aunque la teoría era convincente, seguía sin probarse en el momento de la muerte de Maxwell, ya que la longitud de onda corta y la alta frecuencia de las ondas de luz hacían que sus propiedades fueran imposibles de medir. Sin embargo, ocho años más tarde, en 1887, el físico alemán Heinrich Hertz proporcionó la pieza final del rompecabezas (e hizo un gran avance tecnológico) cuando logró producir una forma muy diferente de onda electromagnética con baja



ecuaciones de Maxwell
han tenido un mayor impacto
en la historia humana que
diez presidentes cualesquiera.
carl sagan



frecuencias y longitudes de onda largas, pero con la misma velocidad general de propagación: la forma de electromagnetismo conocido hoy como ondas de radio.

Heaviside pesa

En el momento del descubrimiento de Hertz, hubo otro desarrollo importante que finalmente produjo las ecuaciones de Maxwell en la forma que conocemos hoy.

En 1884, un ingeniero eléctrico, matemático y físico británico llamado Oliver Heaviside, un genio autodidacta que ya había patentado el cable coaxial para la transmisión eficiente de señales eléctricas, ideó una forma de transformar los potenciales de las ecuaciones de Maxwell en vectores. Estos eran valores que describían tanto el valor como la dirección de la fuerza que experimentaba una carga en un punto dado en un campo electromagnético. Al describir la dirección de las cargas a través del campo en lugar de simplemente su fuerza en puntos individuales, Heaviside redujo una docena de las ecuaciones originales a solo cuatro y, al hacerlo, las hizo mucho más útiles para aplicaciones prácticas. de Heaviside la contribución se olvida en gran medida hoy, pero es su conjunto de cuatro elegantes ecuaciones las que ahora llevan el nombre de Maxwell.

Si bien el trabajo de Maxwell resolvió muchas preguntas sobre la naturaleza de la electricidad, el magnetismo y la luz, también sirvió para resaltar misterios sobresalientes. Quizás el más significativo de estos fue la naturaleza del medio a través del cual se movían las ondas electromagnéticas, ya que seguramente las ondas de luz, como todas las demás, requerían ese medio. La búsqueda para medir este llamado éter luminífero dominaría la física a fines del siglo XIX, lo que llevó al desarrollo de algunos experimentos ingeniosos.

El continuo fracaso para detectarlo creó una crisis en la física que allanaría el camino para las revoluciones gemelas de la teoría cuántica y la relatividad del siglo XX.

Las ecuaciones de Maxwell-Heaviside, aunque expresadas en la gramática matemática abstrusa de las ecuaciones diferenciales, en realidad brindan una descripción concisa de la estructura y el efecto de los campos eléctricos y magnéticos.

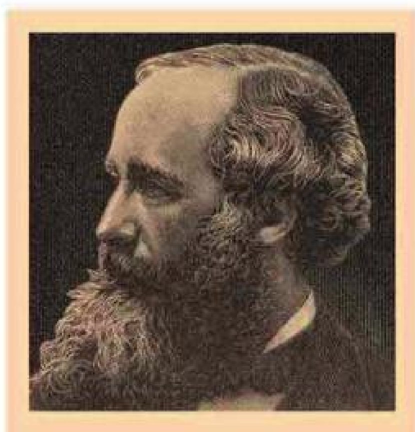
$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times B = \mu_0 j + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$





James secretario Maxwell

Nacido en Edimburgo, Escocia, en 1831, James Clerk Maxwell mostró genio desde una edad temprana, publicando un artículo científico sobre geometría a los 14 años. Educado en las universidades de Edimburgo y Cambridge, se convirtió en profesor en Marischal College en Aberdeen, Escocia, a los 25 años. Fue allí donde comenzó su trabajo sobre electromagnetismo.

Maxwell estaba interesado en muchos otros problemas científicos de la época: en 1859, fue el primero en explicar la estructura de los anillos de Saturno; entre 1855 y 1872 realizó un importante trabajo sobre la teoría de la visión del color, y entre 1859 y 1866 desarrolló un modelo matemático para la distribución de las velocidades de las partículas en un gas.

Un hombre tímido, Maxwell también era aficionado a escribir poesía y permaneció devotamente religioso toda su vida. Murió de cáncer a los 48 años.

Trabajos clave

1861 *Sobre las líneas físicas de fuerza* **1864** *Una teoría dinámica del campo electromagnético* **1872** *Teoría del Calor* **1873** *Tratado de Electricidad y Magnetismo*



LOS RAYOS ERAN PROCEDENTE DE EL TUBO

WILHELM RÖNTGEN (1845–1923)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1838 Michael Faraday pasa una corriente eléctrica a través de un tubo de vidrio parcialmente vacío, produciendo un arco eléctrico brillante.

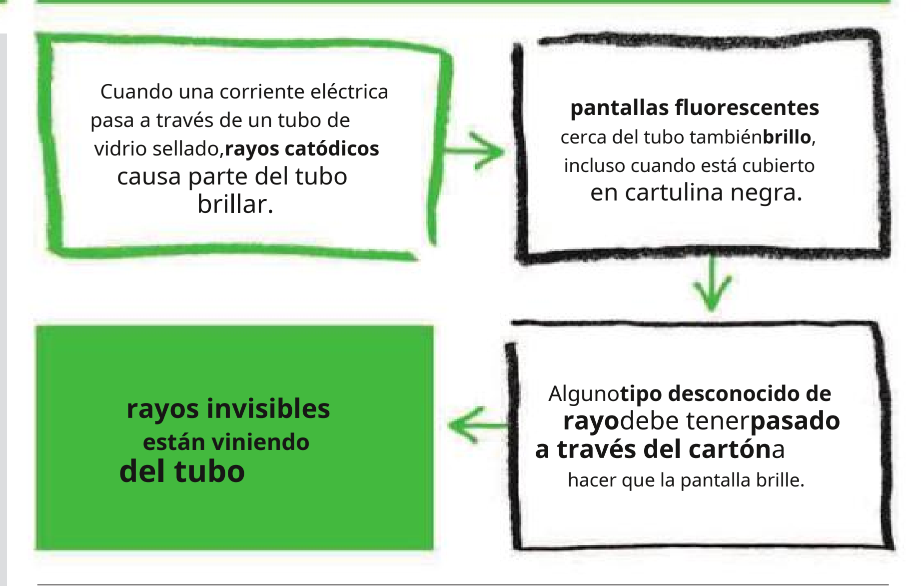
1869 Los rayos catódicos son observados por Johann Hittorf.

DESPUÉS
1896 Primer uso clínico de los rayos X en el diagnóstico, produciendo una imagen de una fractura ósea.

1896 Primer uso clínico de los rayos X en el tratamiento del cáncer.

1897JJ Thomson descubre que los rayos catódicos están en corrientes de hecho de electrones. Los rayos X se producen cuando una corriente de electrones golpea un objetivo de metal.

1953rosalinda franklin usa rayos X para ayudarla a determinar la estructura del ADN.



Like muchos científicos descubrimientos, los rayos X fueron observados por primera vez por científicos que estudiaban otra cosa, en este caso, la electricidad. Un arco eléctrico producido artificialmente (una descarga brillante que salta entre dos electrodos) fue observado por primera vez en 1838 por Michael Faraday. Pasó una corriente eléctrica a través de un tubo de vidrio que había sido parcialmente evacuado de aire. El arco se extendía desde el electrodo negativo (el cátodo) hasta el electrodo positivo (el ánodo).

Rayos catódicos

Esta disposición de electrodos dentro de un recipiente sellado se denomina tubo de descarga. En la década de 1860, el físico británico William Crookes había desarrollado tubos de descarga sin apenas aire en ellos. El físico alemán Johann Hittorf usó estos tubos para medir la capacidad de transporte de electricidad de átomos y moléculas cargados. No había un arco brillante entre los electrodos de los tubos de Hittorf, pero los tubos de vidrio sí brillaban. Hittorf concluyó que la

Ver también: Michael Faraday 121 ■ Ernest Rutherford 206–13 ■ James Watson y Francis Crick 276–83

Los "rayos" deben haber venido del cátodo o electrodo negativo. Fueron llamados rayos catódicos por el colega de Hittorf, Eugen Goldstein, pero en 1897, el físico británico JJ Thomson demostró que son corrientes de electrones.

Descubriendo los rayos X

Durante sus experimentos, Hittorf notó que las placas fotográficas en la misma habitación se empañaban, pero no investigó más este efecto. Otros observaron efectos similares, pero Wilhelm Röntgen fue el primero en investigar su causa y descubrió que era un rayo que podía atravesar muchas sustancias opacas. A petición suya, su las notas de laboratorio se quemaron después de su muerte, por lo que no podemos estar seguros de cómo descubrió exactamente estos "rayos X", pero es posible que los haya observado por primera vez cuando notó que una pantalla cerca de su tubo de descarga brillaba a pesar de que el tubo estaba cubierto de cartulina negra. Röntgen abandonó su experimento original y pasó los siguientes dos meses investigando las propiedades de estos rayos invisibles, que todavía se llaman rayos Röntgen en muchos países. Ahora sabemos que los rayos X son una forma de radiación electromagnética de longitud de onda corta. Tienen una longitud de onda que oscila entre 0,01 y 10 nanómetros (mil millonésimas de metro). Por el contrario, la luz visible se encuentra en el rango de 400 a 700 nanómetros.



La primera imagen de rayos X fue tomado por Röntgen de la mano de su esposa Anna. El círculo oscuro es su anillo de bodas. Al ver la imagen, se dice que Anna exclamó: “He visto mi propia muerte”.

El uso de rayos X hoy

Hoy en día, los rayos X se producen disparando una corriente de electrones a un objetivo de metal. Atraviesan algunos materiales mejor que otros y se pueden utilizar para formar imágenes del interior del cuerpo o para detectar metales en recipientes cerrados. En Tomografías computarizadas (TC), una computadora combina una serie de imágenes de rayos X para formar una imagen 3D del interior del cuerpo.

Los rayos X también se pueden usar para formar imágenes de objetos muy pequeños, y los microscopios de rayos X se desarrollaron en la década de 1940. La resolución de imagen que es posible cuando se usa luz microscopios está limitada por las longitudes de onda de la luz visible. Con sus longitudes de onda mucho más cortas, los rayos X se pueden usar para formar imágenes de objetos mucho más pequeños. La difracción de rayos X se puede utilizar para descubrir cómo se organizan los átomos en los cristales, una técnica que resultó crucial para dilucidar la estructura del ADN.



Wilhelm Röntgen

Wilhelm Röntgen nació en Alemania, pero vivió en los Países Bajos parte de su infancia. Estudió ingeniería mecánica. en Zúrich antes de convertirse en profesor de física en la Universidad de Estrasburgo en 1874, y profesor dos años más tarde. Ocupó altos cargos en varias universidades durante su carrera.

Röntgen estudió muchos diferentes áreas de la física, incluidos los gases, la transferencia de calor y la luz. Sin embargo, es más conocido por su investigación sobre los rayos X, y en 1901 recibió el primer Premio Nobel de Física por este trabajo. Se negó a limitar los usos potenciales de los rayos X mediante la obtención de patentes, diciendo que su descubrimientos pertenecían a la humanidad, y regaló el dinero de su Premio Nobel. A diferencia de muchos de sus contemporáneos, Röntgen usó escudos protectores de plomo en su trabajo con la radiación. murió de un cáncer no relacionado a los 77 años.

Trabajos clave

1895 *En un nuevo tipo de rayos* **1897** *Observaciones adicionales sobre las propiedades de los rayos X*



VER EN LA TIERRA

RICARDO DIXON OLDHAM (1858-1936)

EN CONTEXTO

RAMA
Geología

ANTES
1798henry cavendish publica sus cálculos de la densidad de la Tierra. El valor es mayor que la densidad de las rocas de la superficie, lo que demuestra que la Tierra debe contener materiales más densos.

1880 El geólogo británico John Milne inventa el sismógrafo moderno.

1887 Royal Society de Gran Bretaña financia 20 terremotos observatorios a nivel mundial.

DESPUÉS
1909 El sismólogo croata Andrija Mohorovicic identifica el límite sísmico entre la corteza terrestre y el manto.

1926 Harold Jeffreys afirma que el núcleo de la Tierra es líquido.

1936 Inge Lehmann argumenta que la Tierra tiene un núcleo interno sólido y un núcleo externo fundido.



La sacudida provocada por los terremotos se propaga en forma de ondas sísmicas, que podemos detectar mediante sismógrafos. Mientras trabajaba para el Servicio Geológico de la India entre 1879 y 1903, Richard Dixon Oldham escribió un estudio de un terremoto que azotó Assam en 1897. En él hizo su mayor contribución a la teoría de las placas tectónicas. Oldham señaló que el terremoto tuvo tres fases de movimiento, que tomó para representar tres tipos diferentes de ondas. Dos de ellas eran ondas de "cuerpo", que viajaron a través de la Tierra. El tercer tipo era una onda que viajaba alrededor de la superficie de la Tierra.

Efectos de onda

Las ondas corporales que identificó Oldham se conocen hoy como ondas P y ondas S (primarias y secundarias en el orden en que llegan a un sismógrafo). Las ondas P son ondas longitudinales; a medida que pasa la ola, las rocas se mueven hacia adelante y hacia atrás en la misma dirección en que viajan las olas. Las ondas S son ondas transversales (como las ondas en la superficie del agua); las rocas se mueven lateralmente en la dirección de la ola. ondas p

Ver también: James Hutton 96-101 · Nevil Maskelyne 102–03 · Alfred Wegener 222-23

viajan más rápido que las ondas S y pueden viajar a través de sólidos, líquidos o gases. Las ondas S solo pueden viajar a través de materiales sólidos.

zonas de sombra

Más tarde, Oldham estudió los registros sismográficos de muchos terremotos en todo el mundo y notó que había una "zona de sombra" de ondas P que se extendía alrededor de la Tierra desde la ubicación del terremoto. Casi ninguna onda P de un terremoto fueron detectados en esta zona. Oldham sabía que la velocidad a la que viajan las ondas sísmicas dentro de la Tierra depende de la densidad de las rocas. Llegó a la conclusión de que las propiedades de las rocas cambian con la profundidad y los cambios resultantes en la velocidad provocan la refracción (las ondas siguen trayectorias curvas). Por lo tanto, la zona de sombra es causada por un cambio repentino en las propiedades de las rocas profundas

dentro de la Tierra.

Hoy sabemos que existe una zona de sombra mucho mayor para las ondas S, que se extiende por la mayor parte del hemisferio opuesto.

Foco del terremoto

ondas s

ondas p

Interno centro

Exterior centro

Manto

Este modelo de un terremoto muestra sísmica olas pasando a través de la tierra y la "sombra zonas" de la ondas primarias (P) y secundaria (S) ondas.

el foco del terremoto. Esto indica un interior de la Tierra que tiene propiedades muy diferentes a las del manto. En 1926, el geofísico estadounidense Harold Jeffreys utilizó esta evidencia de las ondas S para sugerir que el núcleo de la Tierra es líquido, ya que las ondas S no pueden atravesar líquidos. La zona de sombra de la onda P es no completamente "sombreada", ya que allí se detectan algunas ondas P. En 1936, la sismóloga danesa Inge Lehmann interpretó estos Ondas P como reflejos de un núcleo sólido interno. Este es el modelo de la Tierra que usamos hoy: un núcleo interno sólido rodeado de líquido, luego el manto con rocas de la corteza en la parte superior.

Richard Dixon Oldham

Nacido en Dublín en 1858, hijo del superintendente del Servicio Geológico de la India (GSI), Richard Dixon Oldham estudió en la Royal School of Mines, antes de unirse al GSI y convertirse en superintendente también.

El trabajo principal del GSI consistió en cartografiar los estratos rocosos, pero también compiló informes detallados sobre terremotos en la India, y es por este aspecto de su trabajo por el que Oldham es más conocido. Se jubiló por salud en 1903 y regresó al Reino Unido, publicando sus ideas sobre el núcleo de la Tierra en 1906. La Sociedad Geológica de Londres le otorgó la Medalla Lyell y fue nombrado miembro de la Royal Society.

Trabajos clave

1899 *Informe del Gran Terremoto del 12 de junio de 1897*
1900 *Sobre la propagación del movimiento sísmico a grandes distancias*
1906 *La Constitución del Interior de la Tierra*



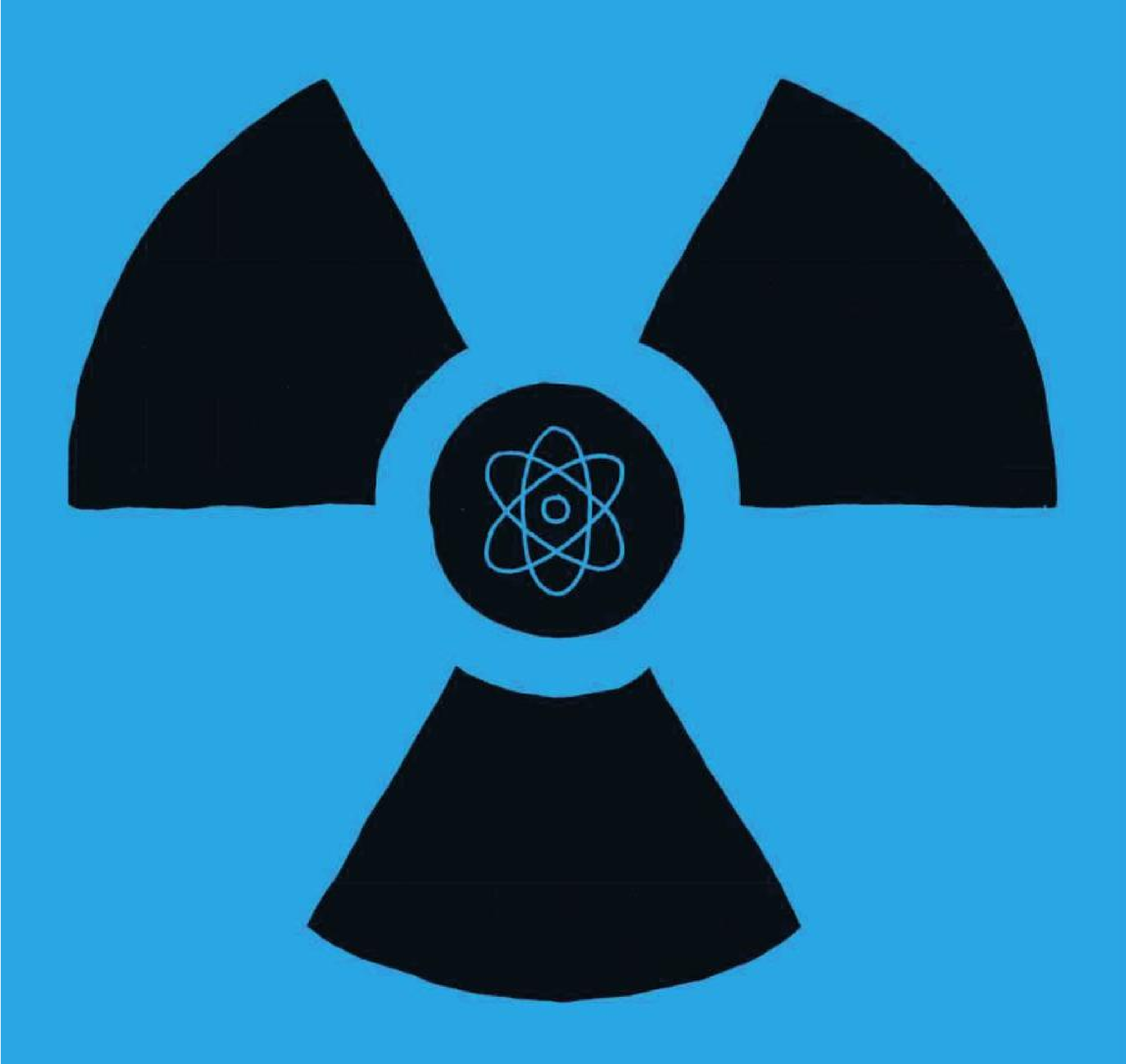
el sismógrafo, grabando el movimiento no sentido de terremotos distantes, nos permite ver dentro de la tierra y determinar su naturaleza

Richard Dixon Oldham



RADIACIÓN
ES UN ATÓMICO
PROPIEDAD
DE LOS ELEMENTOS

MARÍA CURIE (1867-1934)



EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1895 Wilhelm Röntgen investiga las propiedades de los rayos X.

1896 Henri Becquerel descubre que las sales de uranio emiten radiación penetrante.

1897JJ Thomson descubre el electrón mientras explora las propiedades de los rayos catódicos.

DESPUÉS
1904 Thomson propone el modelo de "pudín de ciruelas" del átomo.

1911ernesto rutherford y Ernest Marsden proponer el “modelo nuclear” del átomo.

1932físico británico James Chadwick descubre el neutrón.

LComo muchos descubrimientos científicos importantes, la radiación se descubrió por accidente. En 1896, el físico francés Henri Becquerel estaba investigando la fosforescencia, que ocurre cuando la luz cae sobre una sustancia que luego emite luz de un color diferente. Becquerel quería saber si los minerales fosforescentes también emitían rayos X, que habían sido descubiertos por Wilhelm Röntgen un año antes. Para averiguarlo, colocó uno de estos minerales encima de una placa fotográfica envuelta en papel negro grueso y expuso ambos al sol. El experimento funcionó: el plato se oscureció; el mineral parecía haber emitido rayos X. Becquerel también demostró que los metales bloquearían los “rayos” que hacían que la placa se oscureciera. El día siguiente estaba nublado por lo que no pudo repetir el experimento. Dejó el mineral en una placa fotográfica en un cajón, pero la placa aún se oscureció, incluso sin la luz del sol. Se dio cuenta de que el mineral debía tener una fuente interna de energía, que resultó ser el resultado de la descomposición de los átomos de uranio en el mineral que estaba usando. Había detectado radiactividad.



Era necesario en este punto encontrar un nuevo término para definir esta nueva propiedad de la materia manifestada por la elementos de uranio y torio. propuse la palabra radiactividad.
Marie Curie



Rayos producidos por los átomos. Tras el descubrimiento de Becquerel, su estudiante de doctorado polaca, Marie Curie, decidió investigar estos nuevos "rayos". Usando un electrómetro, un dispositivo para medir corrientes eléctricas, descubrió que el aire alrededor de una muestra de un mineral que contenía uranio conducía electricidad. El nivel de actividad eléctrica dependía únicamente de la cantidad de uranio presente, no de la masa total del mineral (que incluía elementos

Marie Curie



Maria Salomea Skłodowska nació en Varsovia en 1867. En ese momento, Polonia estaba bajo el dominio ruso y las mujeres no podían acceder a la educación superior. Trabajó para ayudar a financiar los estudios de medicina de su hermana en París, Francia, y en 1891 se mudó allí para estudiar matemáticas, física y química. Allí se casó con su colega, Pierre Curie, en 1895. Cuando nació su hija en 1897, comenzó a enseñar para ayudar a mantener a la familia, pero continuó investigando con Pierre en un cobertizo remodelado. Después de la muerte de Pierre, aceptó su cátedra en la Universidad de París, la primera mujer en ocupar este cargo. También fue la primera mujer en recibir un Premio Nobel y la primera en recibir un segundo Nobel. Durante la Primera Guerra Mundial, ayudó a establecer centros de radiología. Murió en 1934 de anemia, probablemente causada por su larga exposición a la radiación.

Trabajos clave

1898*Emisiones de Rayos por Uranio y Compuestos de torio*
1935*Radioactividad*

Ver también: Wilhelm Röntgen 186–87 · Ernest Rutherford 206–13J. Robert Oppenheimer 260–65

excepto el uranio). Esto la llevó a creer que la radiactividad provenía de los propios átomos de uranio y no de ninguna reacción entre el uranio y otros elementos.

Curie pronto descubrió que algunos minerales que contenían uranio eran más radiactivos que el propio uranio y se preguntó si estos minerales contenían otra sustancia, una que fuera más activa que el uranio. En 1898, había identificado el torio como otro elemento radiactivo. Se apresuró a presentar sus hallazgos en un artículo a la Académie des Sciences, pero el descubrimiento de las propiedades radiactivas del torio ya se había publicado.

ciencia doble

Curie y su esposo, Pierre, trabajaron juntos para descubrir los elementos radiactivos adicionales responsables de la alta actividad de los minerales ricos en uranio pechblenda y calcolita. A finales de 1898 habían anunciado el descubrimiento de dos nuevos elementos, a los que llamaron polonio (en honor a su país natal, Polonia) y radio. Intentaron probar sus descubrimientos obteniendo muestras puras de los dos elementos, pero no fue hasta 1902 que obtuvieron 0,003 oz (0,1 g) de cloruro de radio de una tonelada métrica de pechblenda.

Durante este tiempo, los Curie publicaron docenas de artículos científicos, incluido uno que describe su descubrimiento de que el radio podría ayudar a destruir tumores. No patentaron estos descubrimientos, pero en 1903 recibieron conjuntamente el Premio Nobel de Física, junto con Becquerel. Marie continuó su trabajo científico después de la muerte de su esposo en 1906,

Uraniominerales**emitir radiación**que oscurece fotográfico platos**incluso cuando no hay luz**.

↓

El**cantidad de radiación**de los minerales de uranio**depende** solo en el**cantidad de uranio**presente.

↓

El**radiación**por lo tanto, debe provenir de la**átomos de uranio**.

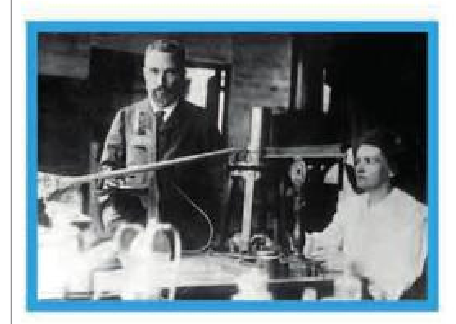
↓

La radiación es una propiedad atómica. de los elementos

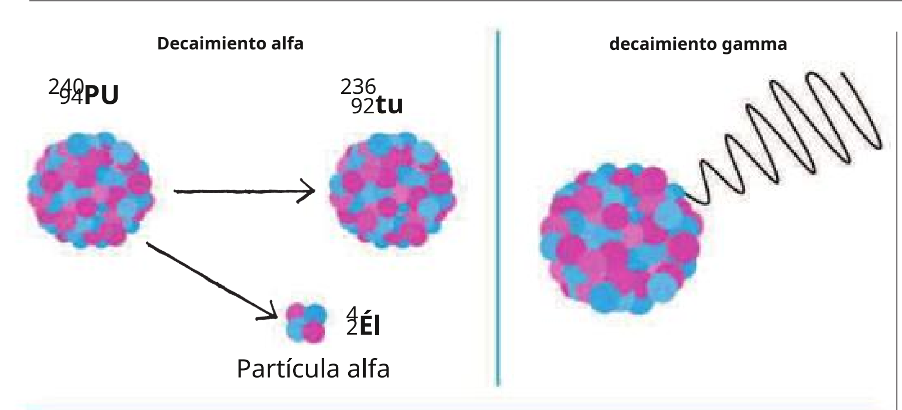
y logró aislar una muestra pura de radio en 1910. En 1911, recibió el Premio Nobel de Química, convirtiéndose en la primera persona en ganar o compartir dos premios.

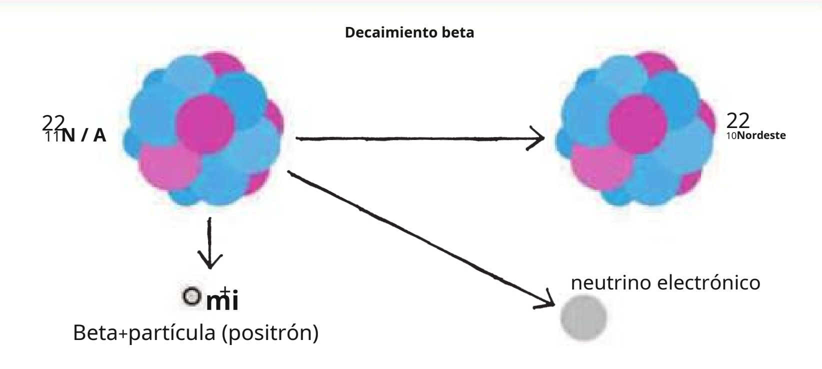
Nuevo modelo del átomo

El descubrimiento de la radiación por parte de los Curie allanó el camino para que dos físicos nacidos en Nueva Zelanda, Ernest Rutherford y Ernest Marsden, formularan su nuevo modelo del átomo en 1911, pero no fue hasta 1932 que el físico inglés James Chadwick descubrió los neutrones y el proceso de la radiación podría explicarse completamente. Los neutrones y los protones cargados positivamente son partículas subatómicas que forman el núcleo de un átomo, que también tiene electrones cargados negativamente zumbando a su alrededor. Los protones y neutrones aportan casi toda la masa del átomo. átomos de un elemento particular siempre tiene el mismo numero de protones pero puede tener diferente numero de neutrones. Los átomos con diferente número de neutrones se llaman isótopos del elemento. Por ejemplo, un átomo de uranio siempre tiene 92 protones en su núcleo, pero puede tener entre 140 y 146 neutrones. Estos



Marie y Pierre Curieno tenía un laboratorio dedicado. La mayor parte de su trabajo se realizó en un cobertizo con goteras junto a la Facultad de Física y Química de la Universidad de París.





Desintegración radioactivapuede ocurrir de tres maneras. El plutonio-240 (arriba a la izquierda) se desintegra para formar uranio y una partícula alfa. Este es un ejemplo de descomposición alfa. Durante la desintegración beta, el sodio-22 se desintegra para formar neón, una partícula beta (en este caso, un positrón) y un neutrino. Con la desintegración gamma, un núcleo de alta energía emite radiación gamma pero no partículas.

Los isótopos reciben el nombre del número total de protones y neutrones, por lo que el isótopo más común del uranio, con 146 neutrones, se escribe como uranio-238 (es decir, 92 + 146).

Muchos elementos pesados, como el uranio, tienen núcleos que son inestables y esto conduce a la descomposición radiactiva espontánea. Rutherford nombró a las emisiones de elementos radiactivos rayos alfa, beta y gamma. El núcleo se vuelve más estable al emitir una partícula alfa, una partícula beta o radiación gamma. Una partícula alfa consta de dos protones y dos neutrones. Las partículas beta pueden ser electrones o sus opuestos, positrones, emitidos desde el núcleo. cuando un protón se convierte en un neutrón o viceversa. Las desintegraciones alfa y beta cambian el número de protones en el núcleo del átomo en descomposición para que se convierta en un átomo de un elemento diferente. Los rayos gamma son una forma de radiación electromagnética de onda corta de alta energía y no cambian la naturaleza del elemento.

La descomposición radiactiva es diferente del proceso de fisión que tiene lugar dentro de los reactores nucleares y del proceso de fusión que alimenta al Sol. En la fisión, los núcleos inestables como el uranio-235 son bombardeados con neutrones y se rompen para formar átomos mucho más pequeños, liberando energía en el proceso. En la fusión, dos pequeños núcleos se combinan para formar un uno más grande La fusión también libera energía, pero las grandes temperaturas y presiones necesarias para iniciar el proceso explican por qué los científicos solo han logrado la fusión en forma de armas nucleares. Hasta ahora, los intentos de utilizar la fusión nuclear para generar electricidad consumen más energía de la que se libera.

Media vida

A medida que se desintegra un material radiactivo, los átomos del elemento radiactivo se transforman en otros elementos, por lo que el número de átomos inestables se reduce con el tiempo. Cuantos menos átomos inestables haya, menos radiactividad se producirá. La reducción de la actividad de un isótopo radiactivo se mide por su vida media. Este es el tiempo que tarda la actividad en reducirse a la mitad, que es lo mismo que decir el tiempo que tarda en reducirse a la mitad el número de átomos inestables de una muestra. Por ejemplo, el isótopo tecnecio-99m se usa ampliamente en medicina y tiene una vida media de 6 horas. Esto significa que 6 horas después de inyectar una dosis a un paciente, la actividad será la mitad de su nivel original; 12 horas después de la inyección, la actividad será una cuarta parte del nivel original, y así sucesivamente. Por el contrario, el uranio-235 tiene una vida media de más de 700 millones de años.

Datación radiactiva

Esta idea de la vida media se puede utilizar para fechar minerales u otros materiales. Se pueden usar muchos elementos radiactivos diferentes con vidas medias conocidas para hacer esto, pero uno de los más conocidos es el carbono. lo mas

El isótopo común del carbono es el carbono-12, con 6 protones y 6 neutrones en cada átomo. El carbono-12 constituye el 99 por ciento del carbono que se encuentra en la Tierra y tiene un núcleo estable. Una pequeña proporción del carbono es carbono-14, que tiene dos neutrones adicionales. esta inestable

isótopo tiene una vida media de 5.730 años. El carbono-14 se produce constantemente en la atmósfera superior a medida que los átomos de nitrógeno son bombardeados con rayos cósmicos. Esto significa que hay una proporción relativamente constante de carbono-12 a carbono-14 en la atmósfera. Dado que las plantas que hacen la fotosíntesis toman dióxido de carbono de la atmósfera, y nuestro alimento consiste en plantas (o animales que han comido plantas), también hay una proporción relativamente constante en las plantas y los animales mientras están vivos, aunque el carbono-14 está constantemente. en descomposición Cuando un organismo muere, no se toma más carbono-14 en su cuerpo, mientras que el carbono-14 que ya está allí continúa decayendo. Al medir la proporción de carbono-12 a carbono-14 en el cuerpo, los científicos pueden determinar cuánto tiempo hace que murió el organismo.

Este método radiométrico se utiliza para fechar madera, carbón, hueso y conchas. Hay variaciones naturales en las proporciones de los isótopos de carbono, pero las fechas se pueden cotejar



El laboratorio Curie... era un cruce entre un establo y un sótano para patatas, y, si no hubiera visto la mesa de trabajo con el aparato químico, lo hubiera pensado una broma práctica.

Guillermo Ostwald



con otros métodos de datación, como los anillos de los árboles, y las correcciones aplicadas a objetos de edad similar.

Un tratamiento maravilloso

Curie se dio cuenta de que la radiactividad tenía usos medicinales. Durante la Primera Guerra Mundial, usó la pequeña cantidad de radio que había extraído para producir gas radón (un gas radiactivo que se produce cuando el radio se desintegra). Esto se selló en tubos de vidrio y se insertó en los cuerpos de los pacientes para matar el tejido enfermo.

Se consideraba una cura maravillosa e incluso se comercializaba en tratamientos de belleza para ayudar a reafirmar la piel envejecida. Solo más tarde se reconoció la importancia de utilizar materiales con una vida media corta.

Los isótopos radiactivos también se utilizan ampliamente en imágenes médicas para diagnosticar enfermedades y en el tratamiento del cáncer. Los rayos gamma se utilizan para esterilizar instrumentos quirúrgicos, e incluso alimentos, para aumentar su vida útil. Los emisores de rayos gamma se pueden utilizar para la inspección interna de objetos metálicos, para detectar grietas o para inspeccionar el contenido de los contenedores de carga para identificar el contrabando.

la erecciónde las piedras de Ale en Suecia data del año 600CEpor la datación radiométrica de herramientas de madera encontradas en el sitio. Las piedras reales son cientos de millones de años más antiguas.



UN CONTAGIOSO FLUIDO VIVO

MARTINUS BEIJERINCK (1851-1931)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
1870 y 80 Robert Koch y otros identifican a las bacterias como la causa de enfermedades como la tuberculosis y el cólera.

1886 El biólogo vegetal alemán Adolf Mayer muestra que la enfermedad del mosaico del tabaco puede ser transferido entre plantas.

1892 Dmitri Ivanovski demuestra que la savia de la planta del tabaco que pasa a través de los más finos filtros de porcelana sin esmaltar aún transmite la infección.

DESPUÉS
1903 Informes de Ivanovsky "inclusiones de cristal" de microscopio óptico en células huésped infectadas, pero sospecha que son bacterias muy pequeñas.

1935 El bioquímico estadounidense Wendell Stanley estudia la estructura del virus del mosaico del tabaco y se da cuenta de que los virus son moléculas químicas grandes.

Muestra la enfermedad del mosaico del tabaco**caracteristicas de una infeccion**, pero...

...**filtros**que atrapan bacterias**no atrapar**y eliminar **el contagio**, por lo que no puede ser bacterias.

Además, a diferencia de las bacterias,**el agente infeccioso crece solamente en un huésped vivo**, no en geles o caldos de laboratorio.

Así que el agente causal debe ser diferente e incluso más pequeño, merecedor de un nuevo nombre—**virus**.

En estos días, la palabra "virus" es demasiado familiar como término médico, y muchas personas entienden la idea de que los virus son casi los más pequeños de los agentes dañinos, o gérmenes, que causan infecciones en humanos, otros animales, plantas y hongos.

Sin embargo, a fines del siglo XIX, el término virus recién se estaba abriendo paso en la ciencia. y medicina Fue sugerido en 1898 por el microbiólogo holandés Martinus Beijerinck para una nueva categoría de agentes causantes de enfermedades contagiosas. Beijerinck tenía un interés especial en las plantas y un gran talento para la microscopía. Experimentó con plantas de tabaco que padecían la enfermedad del mosaico, un efecto moteado decolorante en las hojas que era costoso

Ver también: Friedrich Wöhler 124–25 · Luis Pasteur 156–59 · Lynn Margulis 300–01 · Craig Venter 324–25

para la industria tabacalera. Sus resultados lo llevaron a aplicar el término virus ya en uso ocasional para sustancias que eran tóxicas o venenosas, hasta los agentes contagiosos que causaron la enfermedad.

En ese momento, la mayoría de los contemporáneos de Beijerinck en la ciencia y la medicina todavía estaban lidiando con la comprensión de las bacterias. Louis Pasteur y el médico alemán Robert Koch los aislaron por primera vez y los identificaron como causantes de enfermedades en la década de 1870, y constantemente se estaban descubriendo más.

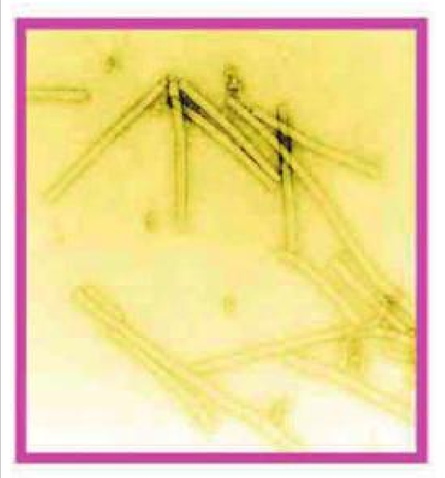
Un método común de prueba de bacterias en ese momento era pasar líquido que contenía los contagios sospechosos a través de varios conjuntos de filtros. Uno de los más conocidos fue el filtro de Chamberland, inventado en 1884 por el colega de Pasteur, Charles Chamberland. Usó poros diminutos en porcelana sin esmaltar para capturar partículas tan pequeñas como bacterias.

Demasiado pequeño para filtrar

Varios investigadores habían sospechado que había una clase de agentes infecciosos incluso más pequeños que las bacterias, que podría transmitir enfermedades. En 1892, el botánico ruso Dmitri Ivanovsky realizó pruebas sobre la enfermedad del mosaico del tabaco y demostró que su agente infeccioso atravesaba los filtros. Estableció que el agente en este caso no podía ser una bacteria, pero no investigó más para descubrir cuál podría ser el agente.

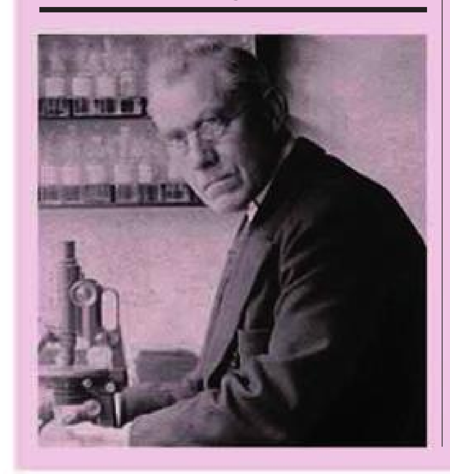
Beijerinck repitió el experimento de Ivanovsky. Él también estableció que incluso después de filtrar el jugo exprimido de las hojas, la enfermedad del mosaico del tabaco seguía presente. De hecho, al principio pensó que la causa era el fluido mismo, al que llamó *Contagium vivum fluidium* (líquido vivo contagioso). Demostró además que el contagio transportado en el fluido no podía crecer en geles o caldos de nutrientes de laboratorio, ni en ningún organismo huésped. Tenía que infectar a su propio huésped vivo específico para poder multiplicarse y propagar la enfermedad.

Aunque los virus no podían verse con los microscopios ópticos de la época, crecer con los métodos habituales de cultivo de laboratorio o detectarse mediante cualquiera de los estándares técnicas microbiológicas, Beijerinck descubrió que realmente existían. Insistió en que causaron enfermedades, impulsando la microbiología y la ciencia médica a una nueva era. No sería hasta 1939, con la ayuda de microscopios electrónicos, que el virus del mosaico del tabaco se convirtió en el primer virus en fotografiarse.



Esta micrografía electrónica la imagen muestra partículas del virus del mosaico del tabaco con un aumento de 160 000x. Las partículas se han teñido para mejorar su visibilidad.

Martinus Beijerinck



Algo así como un recluso, Martinus Beijerinck pasó muchas horas solitarias experimentando en el laboratorio. Nació en Ámsterdam en 1851, estudió química y biología en Delft y se graduó en 1872 en la Universidad de Leiden. Centrándose en la microbiología del suelo y las plantas en Delft, realizó sus famosos experimentos de filtrado del virus del mosaico del tabaco en la década de 1890. También estudió cómo las plantas capturan nitrógeno del aire y incorporarlo en sus tejidos, una especie de sistema de fertilizante natural que enriquece el suelo, así como como trabajar en las agallas de las plantas, la fermentación por levaduras y otros microbios, la nutrición de los microbios y las bacterias del azufre. Al final de su vida, fue reconocido internacionalmente. Los Premios de Virología Beijerinck, creados en 1965, se otorgan cada dos años en el campo de la virología.

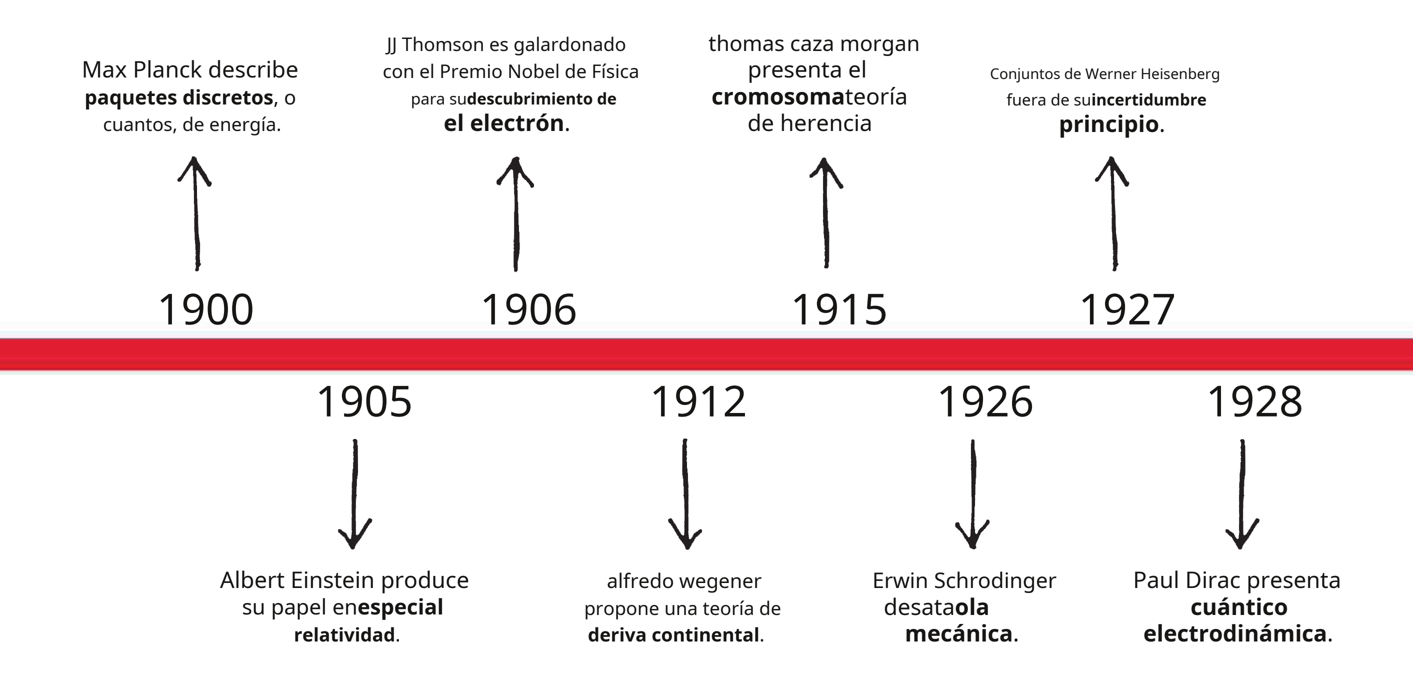
Trabajos clave

1895 *Sobre la reducción de sulfato por* Spirillum desulfuricans **1898** *Con respecto a un* Contagium vivum fluidium *como causa de la enfermedad de las manchas de las hojas del tabaco*

UN PARA

CAMBIO
1900-1945

IGM



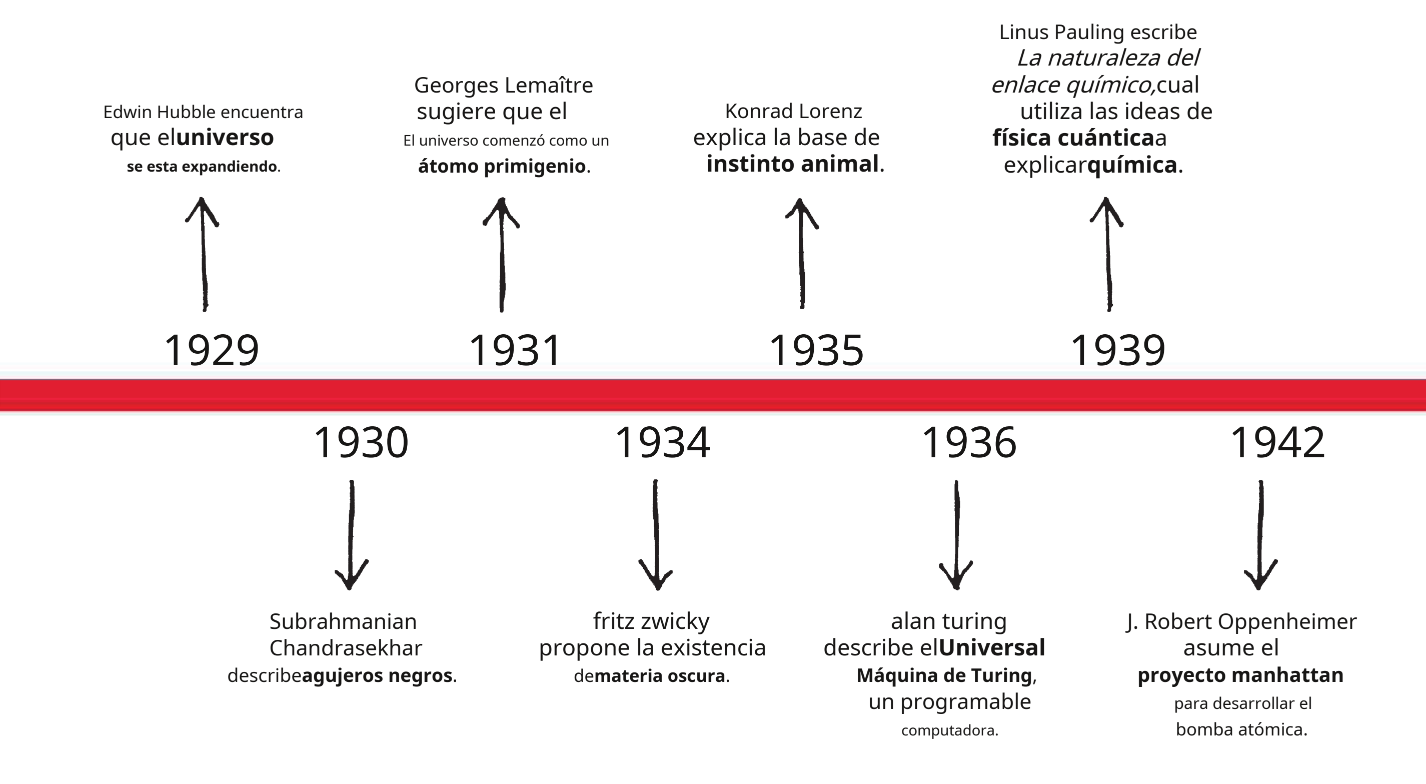
Mientras el siglo XIX había visto un cambio fundamental en la forma los científicos ven los procesos de la vida, la primera mitad del siglo XX resultaría aún más impactante. Las viejas certezas de la física clásica, en gran parte sin cambios desde Isaac Newton, estaban a punto de ser descartadas, y nada menos que una nueva forma de ver el espacio, el tiempo y la materia iba a reemplazarlas. Para 1930, la vieja idea de un universo predecible se había hecho añicos.

Una nueva física

Los físicos estaban descubriendo que las ecuaciones de la mecánica clásica estaban produciendo algunos resultados sin sentido. Estaba claro que algo estaba fundamentalmente mal. En 1900, Max Planck resolvió el enigma del espectro de radiación emitido por un "caja negra", que se había resistido obstinadamente a las ecuaciones clásicas, imaginando que el electromagnetismo viajaba no en continuo ondas, pero en paquetes discretos, o "quanta". Cinco años más tarde, Albert Einstein, un empleado que trabajaba en la Oficina de Patentes de Suiza, produjo su artículo sobre la relatividad especial, afirmando que la velocidad de la luz es constante e independiente del movimiento de la fuente o del observador. Después de trabajar con las implicaciones de la relatividad general, Einstein descubrió en 1916 que las nociones de un tiempo y espacio absolutos independientes del observador habían desaparecido, para ser reemplazadas por un solo espacio-tiempo, que fue distorsionado por la presencia de masa para producir gravedad. . Einstein había demostrado además que la materia y la energía deben considerarse aspectos del mismo fenómeno, capaces de ser convertidos de uno a otro, y su ecuación que describe su relación—$mi=mc^2$ — insinuó una enorme energía potencial encerrada dentro de los átomos.

Dualidad onda-partícula

Peor era seguir para la vieja imagen del universo. En Cambridge, el físico inglés JJ Thomson descubrió el electrón, demostrando que tiene carga negativa y es al menos mil veces más pequeño y liviano que cualquier átomo. Estudiar las propiedades del electrón era producir nuevos rompecabezas. La luz no solo tenía propiedades de partículas, sino que las partículas también tenían propiedades de ondas. El austríaco Erwin Schrödinger elaboró una serie de ecuaciones que describían



la probabilidad de encontrar una partícula en un lugar y estado particular.
Su colega alemán Werner Heisenberg demostró que había una incertidumbre inherente a los valores de lugar y momento, que inicialmente se pensó que era un problema de medición, pero luego se descubrió que era fundamental para la estructura del universo. Estaba emergiendo una imagen extraña de un espacio-tiempo relativo deformado con partículas de materia esparcidas a través de él en forma de ondas de probabilidad.

Dividir el átomo

El neozelandés Ernest Rutherford fue el primero en demostrar que un átomo está hecho principalmente de espacio, con un núcleo pequeño y denso y electrones en órbita a su alrededor. Explicó ciertas formas de radiactividad como la división de este núcleo. Químico

Linus Pauling tomó esta nueva imagen de un átomo y usó las ideas de la física cuántica para explicar cómo se unen los átomos entre sí. En el proceso, mostró cómo la disciplina de la química era, en realidad, una subsección de la física. En la década de 1930, los físicos estaban trabajando en formas de desbloquear la energía en el átomo, y en los EE. UU., J. Robert Oppenheimer dirigió el Proyecto Manhattan, que iba a producir las primeras armas nucleares.

El universo se expande

Hasta la década de 1920, se pensaba que las nebulosas eran nubes de gas o polvo dentro de nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, que comprendía todo el universo conocido. Entonces el astrónomo estadounidense Edwin Hubble
descubrió que estas nebulosas eran en realidad galaxias distantes. El

De repente, el universo era enormemente más grande de lo que nadie había pensado. Hubble descubrió además que el universo se estaba expandiendo en todas las direcciones. Sacerdote y físico belga Georges Lemaître

propuso que el universo se había expandido a partir de un “átomo primigenio”. Esto se convertiría en la teoría del Big Bang. Se descubrió otro enigma cuando el astrónomo Fritz Zwicky acuñó el término "materia oscura" para explicar por qué el cúmulo de galaxias de Coma parecía contener 400 veces más masa (visto por su gravedad) de lo que podía explicar a partir de las estrellas observables. No solo la materia no era exactamente lo que se pensaba que era, sino que gran parte de ella ni siquiera era directamente detectable.

Estaba claro que todavía había agujeros importantes en la comprensión científica.

QUANTA SON DISCRETO PAQUETES DE ENERGÍA

MAX PLANCK (1858-1947)



EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES

1860 La distribución de la llamada radiación de cuerpo negro no coincide con las predicciones realizadas por los modelos teóricos.

1870 El análisis de la entropía (desorden) del físico austriaco Ludwig Boltzmann introduce una interpretación probabilística de la mecánica cuántica.

DESPUÉS

1905 Albert Einstein propone que el cuanto es una entidad real, utilizando el concepto de luz cuantizada de Planck para introducir la idea del fotón.

1924 Louis de Broglie demuestra que la materia se comporta como partícula y como onda.

1926 Erwin Schrodinger formula una ecuación para el comportamiento ondulatorio de las partículas.

En diciembre de 1900, el físico teórico alemán Max Planck presentó un artículo en el que exponía su método para resolver un conflicto teórico de larga data. Al hacerlo, dio uno de los saltos conceptuales más importantes en la historia de la física. El artículo de Planck marcó el punto de inflexión entre la mecánica clásica de Newton y la mecánica cuántica. La certeza y precisión de la mecánica newtoniana daría paso a una descripción incierta y probabilística del universo.

La teoría cuántica tiene sus raíces en el estudio de la radiación térmica, el fenómeno que explica por qué sentimos el calor de un fuego, incluso cuando el

Ver también: Ludwig Boltzmann139 · Albert Einstein 214–21 Erwin Schrodinger 226-33

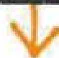
Mecanica clasicatrata la radiación como si fuera emitida a través de un **rango continuo**.



Pero**resultados sin sentido**se alcanzan para la **distribución de la radiación de cuerpo negro**, suponiendo un rango continuo.



El**el problema está resuelto**al tratar la radiación como si fuera producido en**discretos "cuantos."**



La radiación no es continua, sino que se emite en cuantos discretos de energía.

el aire entre él y nosotros es frío. Todo objeto absorbe y emite radiación electromagnética. Si su temperatura aumenta, la longitud de onda de la radiación que emite disminuye mientras que su frecuencia aumenta. Por ejemplo, un trozo de carbón a temperatura ambiente emite energía por debajo de la frecuencia de la luz visible, en el espectro infrarrojo. No podemos ver la emisión, por lo que el carbón aparece negro. Sin embargo, una vez que encendemos el carbón, emite radiación de mayor frecuencia, brillando con un rojo opaco a medida que las emisiones se rompen en el espectro visible, luego al rojo vivo y finalmente con un azul brillante. Los objetos extremadamente calientes, como las estrellas, irradian luz ultravioleta y rayos X de longitud de onda aún más corta, que de nuevo no podemos ver. Mientras tanto, además de producir radiación, un cuerpo también refleja la radiación, y es esta luz reflejada la que da color a los objetos incluso cuando no brillan.

En 1860, el físico alemán Gustav Kirchhoff pensó en un concepto idealizado que llamó "cuerpo negro perfecto". Esta es una superficie teórica que, cuando está en equilibrio térmico (sin calentarse ni enfriarse), absorbe todas las frecuencias de radiación electromagnética que cae sobre ella y no refleja ninguna radiación.
El espectro de radiación térmica que sale de este cuerpo es "puro", ya que no está mezclado con ningún reflejo, solo será
el resultado de la temperatura del propio cuerpo. Kirchhoff creía que tal "radiación de cuerpo negro" es fundamental en la naturaleza: el Sol, por ejemplo, se acerca a ser un objeto de cuerpo negro cuyo espectro emitido es casi enteramente el resultado de su propia temperatura. Estudiar la distribución de la luz de un cuerpo negro mostraría que la emisión de radiación depende únicamente de la temperatura del cuerpo, y no de su forma física o composición química. La hipótesis de Kirchhoff puso en marcha un nuevo programa experimental diseñado para encontrar un marco teórico que describiera la radiación del cuerpo negro.

Entropía y cuerpos negros

Planck llegó a su nueva teoría cuántica a través del fracaso de física clásica para explicar los resultados experimentales de la distribución de la radiación del cuerpo negro. Gran parte del trabajo de Planck se centró en la segunda ley de la termodinámica, que él había identificado como "absoluta". Esta ley establece que los sistemas aislados se mueven con el tiempo hacia un estado de equilibrio termodinámico (lo que significa que todas las partes del sistema están a la misma temperatura). Planck intentó



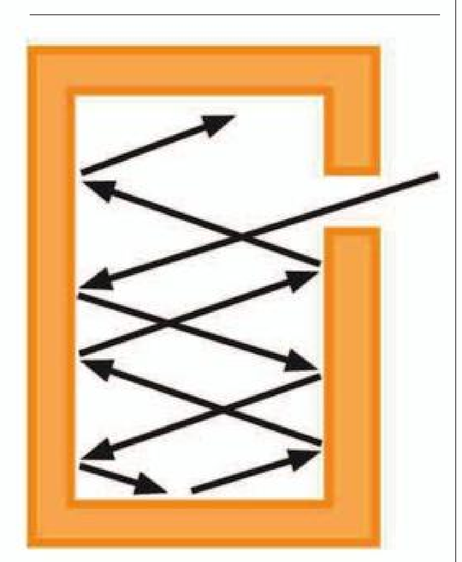
Una nueva verdad científica no triunfa convenciendo a sus oponentes y haciéndoles ver la luz, sino más bien porque... una nueva crece la generación que es familiarizado con él.

Planck Max



explicar el patrón de radiación térmica de un cuerpo negro calculando la entropía del sistema. La entropía es una medida del desorden, aunque más estrictamente se define como un recuento del número de formas en que un sistema puede organizarse. Cuanto mayor es la entropía de un sistema, más formas tiene el sistema de organizar y producir el mismo patrón general. Por ejemplo, imagina una habitación en la que todas las moléculas de aire comiencen amontonadas en la esquina superior. Hay muchas más formas de que las moléculas se organicen para que haya aproximadamente el mismo número de ellas en cada centímetro cúbico de la habitación que para que permanezcan todas en la esquina superior. Con el tiempo, se distribuyen por igual en toda la habitación a medida que aumenta la entropía del sistema.

Una piedra angular de la segunda ley de la termodinámica es que la entropía funciona en una sola dirección.
En el camino hacia el equilibrio térmico, la entropía de un sistema siempre aumenta o permanece constante.



Una cavidad con un pequeñoagujero atrapará la mayor parte de la radiación que entra a través del agujero, por lo que es una buena aproximación de un cuerpo negro ideal.

Planck razonó que este principio debería ser evidente en cualquier modelo teórico de cuerpo negro.

La ley de Wien-Planck

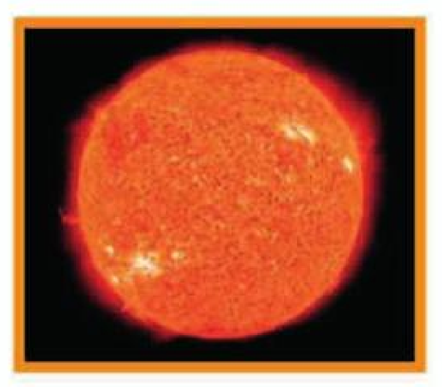
En la década de 1890, los experimentos en Berlín se acercaron al cuerpo negro perfecto de Kirchhoff, utilizando la llamada radiación de cavidad. Un pequeño orificio en una caja que se mantiene a una temperatura constante es una buena aproximación de un cuerpo negro, ya que cualquier radiación que ingrese a la caja queda atrapada en el interior y las emisiones del cuerpo son puramente el resultado de su temperatura.

Los resultados experimentales resultaron molestos para el colega de Planck, Wilhelm Wien, ya que las emisiones de baja frecuencia registradas no se ajustaban en absoluto a sus ecuaciones de radiación. Algo había salido mal. En 1899, Planck llegó a una ecuación revisada, la ley de Wien-Planck, que intentaba una mejor descripción del espectro de energía térmica.
radiación de un cuerpo negro.

Catástrofe ultravioleta

Otro desafío llegó un año después, cuando los físicos británicos Lord Rayleigh y Sir James Jeans demostraron cómo la física clásica predice una distribución absurda de energía en la emisión de un cuerpo negro. La Ley de Rayleigh-Jeans predijo que, a medida que la frecuencia de la
la radiación aumentaba, la potencia que emitía crecería exponencialmente. Esta "catástrofe ultravioleta" estaba tan radicalmente en desacuerdo con los hallazgos experimentales que la teoría clásica debe haber estado seriamente equivocada. Si fuera correcto, se emitiría una dosis letal de radiación ultravioleta cada vez que se encendiera una bombilla.

Planck no estaba demasiado preocupado por la Ley de Rayleigh-Jeans. Estaba más preocupado por la Ley Wien-Planck, que, incluso en su forma revisada, no coincidía



Ningún objeto del mundo reales un cuerpo negro perfecto, pero el Sol, el terciopelo negro y las superficies recubiertas de negro de humo, como el alquitrán de hulla, se acercan.

los datos: podría describir con precisión el espectro de longitud de onda corta (alta frecuencia) de la emisión térmica de los objetos, pero no el de longitud de onda larga (emisiones de baja frecuencia). Este es el punto en el que Planck rompe con su conservadurismo y recurre al enfoque probabilístico de Ludwig Boltzmann para llegar a un nuevo
expresión de su ley de radiación.

Boltzmann había formulado una nueva forma de ver la entropía considerando un sistema como una gran colección de átomos y moléculas independientes.
mientras que el segundo



La ciencia no puede resolver el último misterio de la naturaleza. Y eso es porque, en última instancia, nosotros mismos somos parte del misterio que
están tratando de resolver.
Planck Max

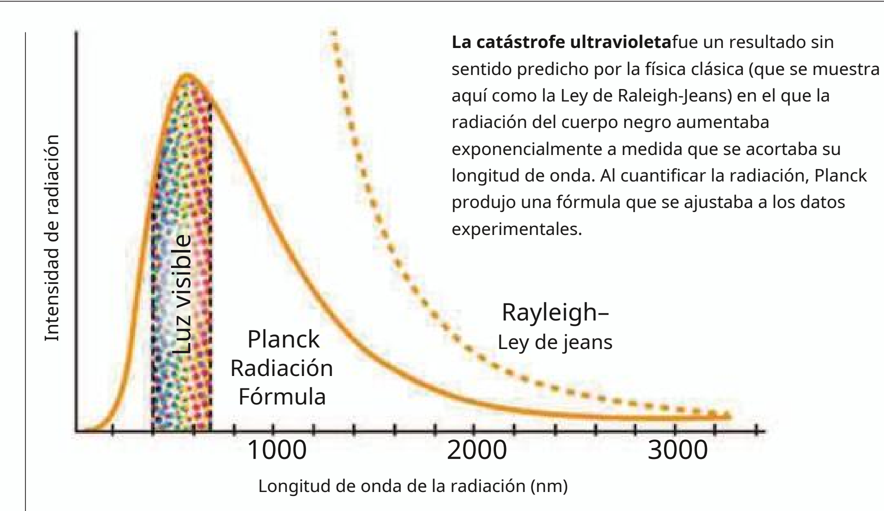


la ley de la termodinámica seguía siendo válida, la lectura de Boltzmann le dio una verdad probabilística, más que absoluta. Por lo tanto, observamos la entropía simplemente porque es abrumadoramente más probable que la alternativa. Un plato se rompe pero no se rehace solo, pero no existe una ley absoluta que impida que un plato se vuelva a armar solo, es extremadamente improbable que suceda.

cuanto de accion

Planck utilizó la interpretación estadística de la entropía de Boltzmann para llegar a una nueva expresión de la ley de radiación. Imaginando la radiación térmica como producida por "osciladores" individuales, necesitaba contar las formas en que una energía determinada podría distribuirse entre ellos.

Para hacer esto, dividió la energía total en un número finito de porciones discretas de energía, un proceso llamado "cuantización". Planck era un violonchelista y pianista talentoso y podría haber imaginado estos "quanta" de la misma manera que un número fijo de armónicos está disponible para la cuerda vibrante de un instrumento. La ecuación resultante era simple y se ajustaba a los datos experimentales.

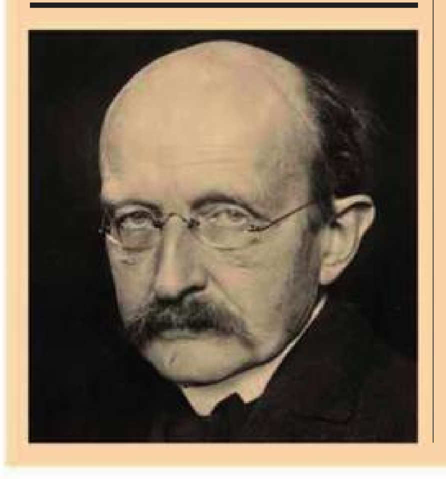


La catástrofe ultravioletafue un resultado sin sentido predicho por la física clásica (que se muestra aquí como la Ley de Raleigh-Jeans) en el que la radiación del cuerpo negro aumentaba exponencialmente a medida que se acortaba su longitud de onda. Al cuantificar la radiación, Planck produjo una fórmula que se ajustaba a los datos experimentales.

La introducción de "cuantos" de energía redujo el número de estados de energía disponibles para el sistema, y al hacer esto (aunque no era su objetivo), Planck resolvió la catástrofe ultravioleta. Pensó en sus cuantos como una necesidad matemática, como un "truco", en lugar de algo real. Pero cuando Albert Einstein utilizó el concepto para explicar el efecto fotoeléctrico en 1905, insistió en que los cuantos eran una propiedad real de la luz.

Al igual que muchos de los pioneros de la mecánica cuántica, Planck pasó el resto de su vida luchando aceptar las consecuencias de su propio trabajo. Si bien nunca tuvo ninguna duda sobre el impacto revolucionario de lo que había hecho, según el historiador James Franck, fue “un revolucionario contra su propia voluntad”. Encontró que las consecuencias de sus ecuaciones no eran de su agrado, ya que a menudo daban descripciones de la realidad física que chocaban con nuestra experiencia cotidiana del mundo. Pero para bien o para mal, después de Max Planck, el mundo de la física nunca ha sido el mismo.

Planck Max



Nacido en Kiel, en el norte de Alemania, en 1858, Planck fue un alumno capaz en la escuela y se graduó temprano, a los 17 años. Decidió estudiar física en la Universidad de Munich, donde pronto se convirtió en un pionero de la física cuántica. Recibió el Premio Nobel de Física en 1918 por su descubrimiento de los cuantos de energía, aunque nunca fue capaz de describir satisfactoriamente la fenómenos como una realidad física.

La vida personal de Planck estuvo plagada de tragedias. Su primera esposa murió en 1909 y su hijo mayor murió en la Primera Guerra Mundial. Sus dos hijas gemelas murieron dando a luz a sus hijos. Durante la Segunda Guerra Mundial, una bomba aliada destruyó su casa en Berlín y sus papeles, y en las etapas finales de la guerra, el hijo que le quedaba se vio envuelto en el complot para asesinar a Hitler y fue ejecutado. El propio Planck murió poco después de la guerra.

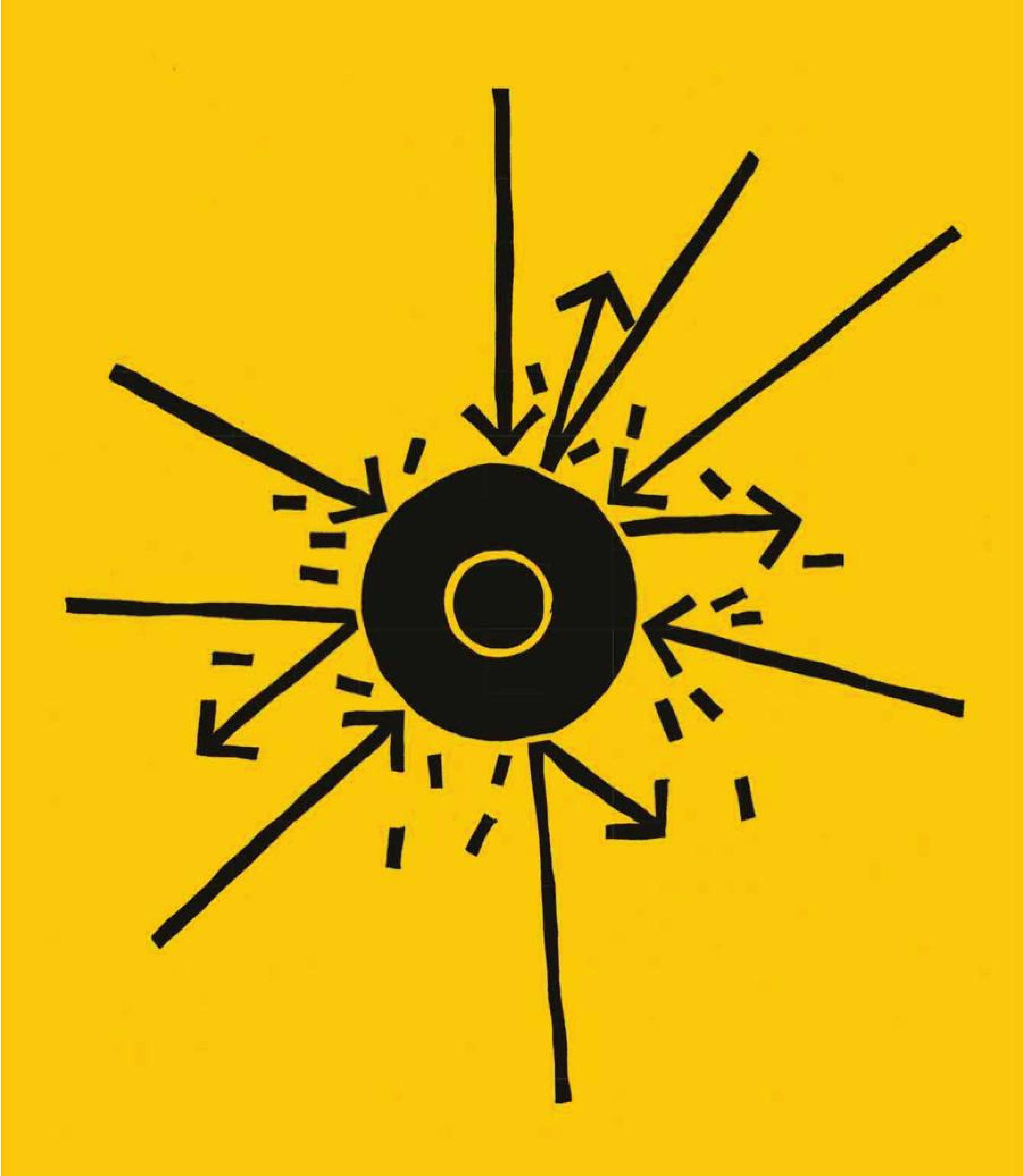
Trabajos clave

1900*Entropía y temperatura del calor radiante*
1901*Sobre la Ley de Distribución de la Energía en la Normal Espectro*

AHORA SÉ LO QUE

ÁTOMO PARECE

ERNEST RUTHERFORD (1871–1937)



EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
c.400antes de Cristo El filósofo griego Demócrito concibe los átomos como sólidos, indestructibles
bloques de construcción de la materia.

1805 La teoría atómica de la materia de John Dalton une los procesos químicos con la realidad física y le permite
calcular pesos atómicos.

1896 La radiación nuclear es descubierta por Henri Becquerel, y se utiliza para revelar la
estructura interna del átomo.

DESPUÉS
1938 Otto Hahn, Fritz Strassman y Lise Meitner dividieron el núcleo atómico.

2014 Disparar partículas cada vez más energéticas al núcleo continúa revelando una gran cantidad de nuevas partículas subatómicas y antipartículas.

T l descubrimiento a principios del siglo XX de que el constituyente básico de la materia, el átomo, podía dividirse en fragmentos más pequeños fue un punto de inflexión para la física. Este asombroso avance revolucionó las ideas sobre cómo se construye la materia y las fuerzas que la mantienen unida junto con el universo. Reveló un mundo completamente nuevo a nivel subatómico, uno que requería una nueva física para describir sus interacciones, y una gran cantidad de

diminutas partículas que llenaban este dominio infinitesimalmente pequeño.

Las teorías atómicas tienen una larga historia. El filósofo griego Demócrito desarrolló las ideas de pensadores anteriores de que todo está compuesto de átomos. la palabra griega*átomos*, que se le atribuye a Demócrito, significa indivisible y se refiere a las unidades básicas de la materia. Demócrito pensó que la
los materiales deben reflejar los átomos de los que están hechos, por lo que los átomos de hierro son sólidos y fuertes, mientras que los del agua son suaves y resbaladizos.

A principios del siglo XIX, el filósofo natural inglés John Dalton propuso una nueva teoría atómica. teoría basada en su "ley de las proporciones múltiples", que explicaba cómo los elementos (sustancias simples, no combinadas) siempre se combinan en proporciones simples de números enteros. Dalton vio que esto significaba que una reacción química entre dos sustancias no es más que la fusión de
pequeños componentes individuales, repetidos innumerables veces. Esta fue la primera teoría atómica moderna.

Una ciencia estable

Un estado de ánimo de autocomplacencia era detectable en la física a fines del siglo XIX. Ciertos físicos eminentes hicieron grandilocuentes declaraciones en el sentido de que el tema estaba casi terminado, que se habían hecho todos los descubrimientos principales y que el programa en marcha consistía en mejorar la precisión de las cantidades conocidas "hasta el sexto lugar decimal". Sin embargo, muchos físicos investigadores de la época lo sabían mejor. Ya estaba claro que se enfrentaban a un conjunto de fenómenos completamente nuevos y extraños que desafiaban toda explicación.

En 1896, Henri Becquerel, siguiendo la pista del descubrimiento de los misteriosos "rayos X" de Wilhelm Röntgen el año anterior, había

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
c.400antes de Cristo El filósofo griego Demócrito concibe los átomos como sólidos, indestructibles bloques de construcción de la materia.

1805 La teoría atómica de la materia de John Dalton une los procesos químicos con la realidad física y le permite calcular pesos atómicos.

1896 La radiación nuclear es descubierta por Henri Becquerel, y se utiliza para revelar la estructura interna del átomo.

DESPUÉS
1938 Otto Hahn, Fritz Strassman y Lise Meitner dividieron el núcleo atómico.

2014 Disparar partículas cada vez más energéticas al núcleo continúa revelando una gran cantidad de nuevas partículas subatómicas y antipartículas.

Tl descubrimiento a principios del siglo XX de que el constituyente básico de la materia, el átomo, podía dividirse en fragmentos más pequeños fue un punto de inflexión para la física. Este asombroso avance revolucionó las ideas sobre cómo se construye la materia y las fuerzas que la mantienen unida junto con el universo. Reveló un mundo completamente nuevo a nivel subatómico, uno que requería una nueva física para describir sus interacciones, y una gran cantidad de diminutas partículas que llenaban este dominio infinitesimalmente pequeño.

Las teorías atómicas tienen una larga historia. El filósofo griego Demócrito desarrolló las ideas de pensadores anteriores de que todo está compuesto de átomos. la palabra griega*átomos*, que se le atribuye a Demócrito, significa indivisible y se refiere a las unidades básicas de la materia. Demócrito pensó que la los materiales deben reflejar los átomos de los que están hechos, por lo que los átomos de hierro son sólidos y fuertes, mientras que los del agua son suaves y resbaladizos.

A principios del siglo XIX, el filósofo natural inglés John Dalton propuso una nueva teoría atómica. teoría basada en su "ley de las proporciones múltiples", que explicaba cómo los elementos (sustancias simples, no combinadas) siempre se combinan en proporciones simples de números enteros. Dalton vio que esto significaba que una reacción química entre dos sustancias no es más que la fusión de pequeños componentes individuales, repetidos innumerables veces. Esta fue la primera teoría atómica moderna.

Una ciencia estable

Un estado de ánimo de autocomplacencia era detectable en la física a fines del siglo XIX. Ciertos físicos eminentes hicieron grandilocuentes declaraciones en el sentido de que el tema estaba casi terminado, que se habían hecho todos los descubrimientos principales y que el programa en marcha consistía en mejorar la precisión de las cantidades conocidas "hasta el sexto lugar decimal". Sin embargo, muchos físicos investigadores de la época lo sabían mejor. Ya estaba claro que se enfrentaban a un conjunto de fenómenos completamente nuevos y extraños que desafiaban toda explicación.

En 1896, Henri Becquerel, siguiendo la pista del descubrimiento de los misteriosos "rayos X" de Wilhelm Röntgen el año anterior, había

Partículas alfa disparadas en átomosa veces viajan directamente, a veces son desviado, y**a veces recuperarse**.

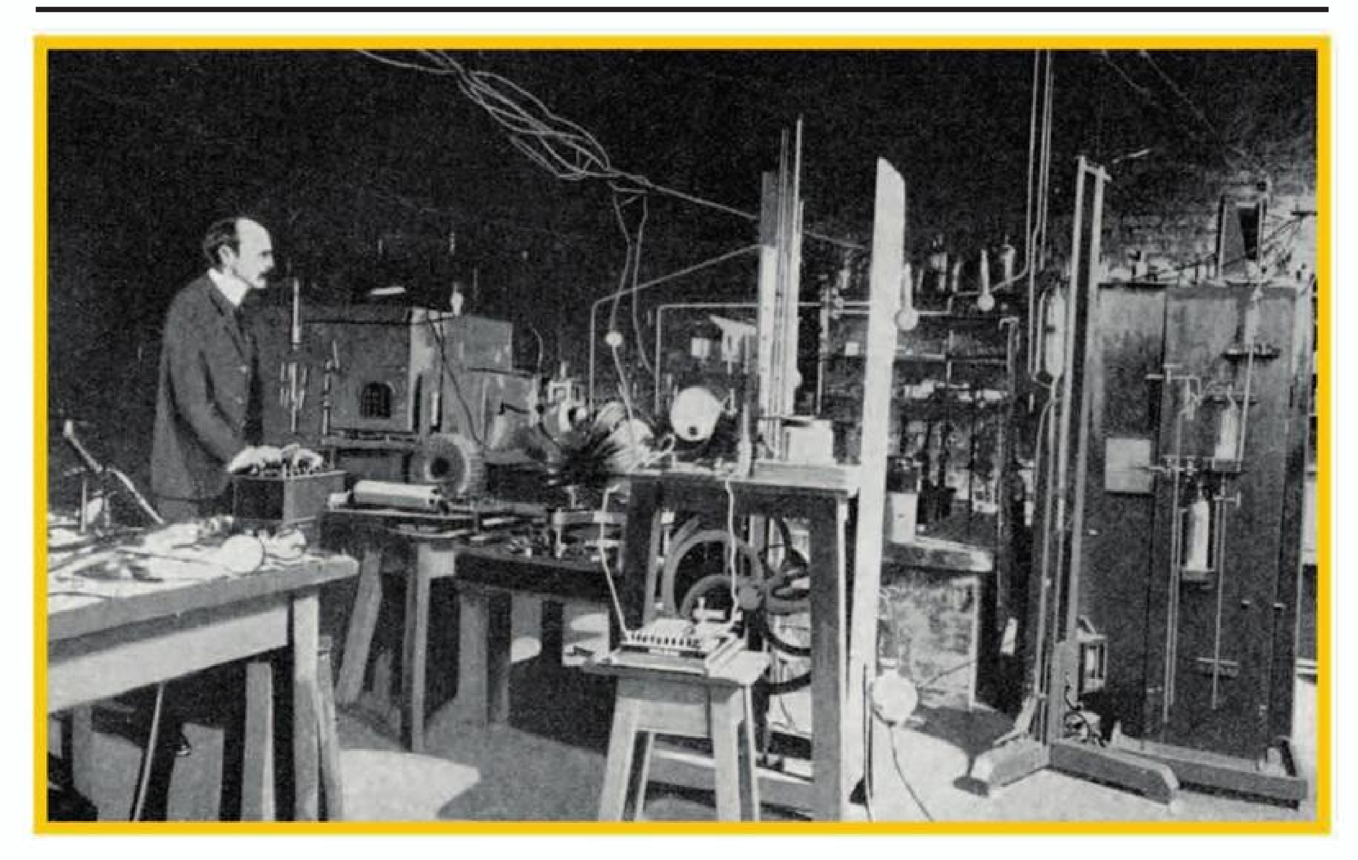
Esto significa que un átomo debe tener a**pequeño, denso** central**núcleo**.

electronesson encontrado tener específico **orbita alrededor el núcleo**.

Por lo tanto, el átomo está hecho de un**núcleo pequeño y masivo** con**electrones orbitando** en conchas.

Ahora sé que es el atomo parece.

Ver también: John Dalton 112–13 · Agosto Kekulé 160–65 · Wilhelm Röntgen 186–87 · María Curie 190–95 · Max Planck 202–05 · Albert Einstein 214–21 · Linus Pauling 254-59 · Murray Gell-Mann 302–07



encontró una radiación inexplicable. ¿Cuáles eran estas nuevas radiaciones y de dónde procedían? Becquerel supuso correctamente que esta radiación emanaba del interior de las sales de uranio.

Cuando Pierre y Marie Curie estudiaron la descomposición del radio, descubrieron una fuente de energía constante y aparentemente inagotable dentro de los elementos radiactivos. Si este fuera el caso, se romperían varias leyes fundamentales de la física. Cualesquiera que fueran estas radiaciones, estaba claro que había grandes lagunas en los modelos actuales.

Descubrimiento del electrón

Al año siguiente, el físico británico Joseph John (JJ) Thomson causó sensación cuando demostró que podía descomponer los átomos en grumos. Mientras investiga los "rayos" que emanan de los cátodos de alto voltaje (electrodos cargados negativamente), descubrió que este tipo particular de radiación estaba hecho de "corpúsculos" individuales, ya que creaba destellos de luz momentáneos y puntuales al golpear una pantalla fosforescente; estaba cargado negativamente, ya que un rayo podía ser desviado por un campo eléctrico; y era extremadamente ligero, pesando menos de una milésima parte del átomo más ligero, el hidrógeno. Además, el peso del corpúsculo era el mismo, sin importar qué elemento se usara como fuente. Thomson había descubierto el electrón. Estos resultados fueron totalmente inesperados.

jj thomson se muestra aquí en el trabajo en su laboratorio de Cambridge. El modelo del átomo de "pudín de ciruelas" de Thomson fue el primero en incluir el electrón recién descubierto.

teóricamente. Si un átomo contiene partículas cargadas, ¿por qué las partículas opuestas no deberían tener la misma masa? Las teorías atómicas anteriores sostenían que los átomos eran grumos sólidos. Como corresponde a su estatus como el constituyente más básico de la materia, eran completos, completos y perfectos. Pero vistos a la luz del descubrimiento de Thomson, claramente eran divisibles. Juntas, estas nuevas radiaciones despertaron la sospecha de que la ciencia no había logrado comprender los componentes vitales de la materia y la energía.

El modelo del pudín de ciruelas

El descubrimiento del electrón de Thomson le valió el Premio Nobel de Física en 1906. Sin embargo, era lo suficientemente teórico como para ver que se necesitaba un nuevo modelo radical del átomo para incorporar adecuadamente sus hallazgos. Su respuesta, producida en 1904, fue el modelo del "pudín de pasas". Los átomos no tienen carga eléctrica total y, dado que la masa de este nuevo electrón era pequeña, Thomson postuló que una esfera cargada positivamente más grande contenía la mayor parte de la masa del átomo, y los electrones estaban incrustados en ella como ciruelas en la masa de un pudín de Navidad. Sin evidencia que sugiriera lo contrario, era sensato suponer que las cargas puntuales, como las ciruelas en un budín, estaban distribuidas arbitrariamente a lo largo del átomo.

revolución de rutherford

Sin embargo, las partes cargadas positivamente del átomo se negaron rotundamente a revelarse, y la búsqueda comenzó para localizar al miembro faltante del par atómico. La búsqueda resultó en un descubrimiento que produciría una visualización muy diferente de la estructura interna de la unidad básica de todos los elementos.



Toda ciencia es física o filatelia.
ernesto rutherford



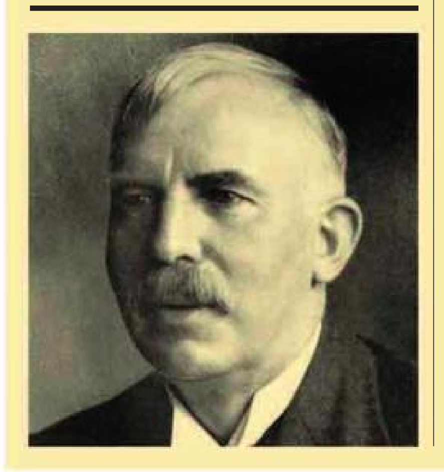

En los Laboratorios de Física de la Universidad de Manchester, Ernest Rutherford ideó y dirigió un experimento para probar el modelo del pudín de ciruelas de Thomson. Este carismático neozelandés era un talentoso experimentador con un agudo sentido de los detalles a seguir. Rutherford había recibido el Premio Nobel de Física de 1908 por su "Teoría de la desintegración atómica".

La teoría proponía que las radiaciones que emanaban de los elementos radiactivos eran el resultado de la ruptura de sus átomos. Con el químico Frederick Soddy, Rutherford había demostrado que la radiactividad involucraba un elemento que cambiaba espontáneamente a otro. Su trabajo consistía en sugerir nuevas formas de sondear el interior del átomo y ver qué había allí.

Radioactividad

Aunque la radiactividad fue encontrada por primera vez por Becquerel y los Curie, fue Rutherford quien identificó y nombró los tres tipos diferentes de lo que ahora llamaríamos radiación nuclear. Estas son partículas "alfa" cargadas positivamente, pesadas y de movimiento lento; partículas "beta" cargadas negativamente que se mueven rápidamente; y radiación "gamma" altamente energética pero sin carga (p.194). Rutherford clasificó estas diferentes formas de radiación por su poder de penetración, desde las partículas alfa menos penetrantes, que son bloqueadas por un papel delgado, hasta los rayos gamma que requieren un espesor de plomo para ser detenidos. Fue el primero en utilizar partículas alfa para explorar el reino atómico. También fue el primero en delinear la noción de vida media radiactiva y descubrir que las "partículas alfa" eran nucleoiatomos de helio despojados de sus electrones.

ernesto rutherford

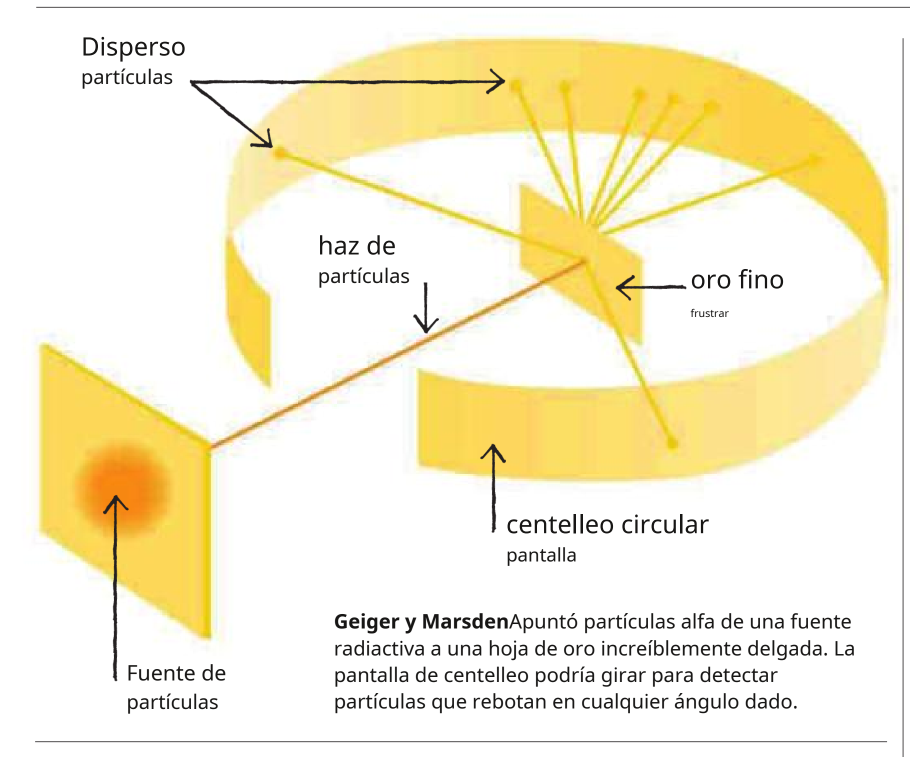


Criado en la zona rural de Nueva Zelanda, Ernest Rutherford estaba trabajando en los campos cuando la carta de JJ Thomson llegó informándole de una beca para la Universidad de Cambridge. En 1895, fue nombrado investigador en los Laboratorios Cavendish, donde realizó experimentos junto con Thomson que condujeron al descubrimiento del electrón. En 1898, a los 27 años, Rutherford asumió un puesto de profesor en la Universidad McGill en Montreal Canadá. Fue allí donde llevó a cabo el trabajo sobre la radiactividad que le valió el Premio Nobel de Física en 1908.

Rutherford también fue un administrador consumado, y durante su vida dirigió los tres principales laboratorios de investigación de física. En 1907, ocupó la cátedra de física en la Universidad de Manchester donde descubrió el núcleo atómico. En 1919 volvió a la Cavendish como director.

Trabajos clave

1902 *La causa y la naturaleza de la radiactividad, I y II*
1909 *la naturaleza de la* α *Partícula de Sustancias Radiactivas*



Geiger y Marsden Apuntó partículas alfa de una fuente radiactiva a una hoja de oro increíblemente delgada. La pantalla de centelleo podría girar para detectar partículas que rebotan en cualquier ángulo dado.

El experimento de la hoja de oro
En 1909, Rutherford se dispuso a investigar la estructura de la materia utilizando partículas alfa. El año anterior, junto con el alemán Hans Geiger, había desarrollado "pantallas de centelleo" de sulfuro de zinc, que permitían contar las colisiones individuales de partículas alfa como breves destellos brillantes o centelleos. Con la ayuda del estudiante universitario Ernest Marsden, Geiger usaría estas pantallas para

determinar si la materia era infinitamente divisible o si los átomos contenían bloques de construcción fundamentales.

Dispararon un haz de partículas alfa desde una fuente de radio a una tira extremadamente delgada de hoja de oro, de apenas unos mil átomos de espesor. Si, como sostenía el modelo del pudín de ciruelas, los átomos de oro consistieran en una nube difusa de carga positiva con cargas negativas puntuales, entonces las partículas alfa masivas cargadas positivamente irían en línea recta. a través de la lámina. La mayoría de las partículas se desviarían solo ligeramente por la interacción con los átomos de oro y se dispersarían en ángulos poco profundos.

Geiger y Marsden pasaron largas horas sentados en el laboratorio a oscuras, mirando hacia abajo.



Fue el evento más increíble que me ha pasado en mi vida. Era casi tan increíble como si disparaste un proyectil de 15 pulgadas a un trozo de papel de seda y volvió y te golpeó.
ernesto rutherford



microscopios y contando los diminutos destellos de luz en las pantallas de centelleo. Luego, siguiendo una corazonada, Rutherford les indicó que colocaran pantallas que captaran cualquier desviación de ángulo alto así como los centelleos esperados de ángulo bajo. Con estas nuevas pantallas en su lugar, descubrieron que algunas de las partículas alfa estaban siendo desviadas en más de 90º, y otras rebotaban en la lámina por donde habían venido. Rutherford describió el resultado como si disparara un proyectil de 15 pulgadas a un papel de seda y lo hiciera rebotar.

El átomo nuclear

Detener partículas alfa pesadas en su camino o desviarlas en ángulos altos solo era posible si la carga positiva y la masa de un átomo se concentraban en un volumen pequeño. A la luz de estos resultados, en 1911, Rutherford publicó su concepción de la estructura del átomo. El "Modelo de Rutherford" es un sistema solar en miniatura, con electrones que orbitan alrededor de un núcleo pequeño, denso y cargado positivamente. La principal innovación del modelo fue la

núcleo infinitesimalmente pequeño, lo que obligó a la incómoda conclusión de que el átomo no es en absoluto sólido. La materia a escala atómica es principalmente espacio, gobernado por energía y fuerza. Esta fue una ruptura definitiva con las teorías atómicas del siglo anterior.

Mientras que la "ciruela" de Thomson pudding" había sido un éxito instantáneo, el modelo de Rutherford fue ignorado en gran medida por la comunidad científica. Sus fallas eran demasiado evidentes. Estaba bien establecido que las cargas eléctricas aceleradas emiten energía como radiación electromagnética. Por lo tanto, a medida que los electrones se precipitan alrededor del núcleo, experimentando una aceleración circular que los mantiene

en sus órbitas, deberían estar emitiendo continuamente radiación electromagnética. Perdiendo constantemente energía a medida que orbitaban, los electrones formarían una espiral inexorable hacia el núcleo. Según el modelo de Rutherford, los átomos deberían ser inestables, pero claramente no lo son.

Un átomo cuántico

El físico danés Niels Bohr salvó al modelo atómico de Rutherford de languidecer en la oscuridad al aplicar nuevas ideas sobre la cuantización a la materia. La revolución cuántica había comenzado en 1900 cuando Max Planck propuso la cuantización de la radiación, pero el campo aún estaba en pañales en 1913; tendría que esperar hasta la década de 1920 para un marco matemático formalizado de la mecánica cuántica. En el momento en que Bohr estaba trabajando en

este problema, la teoría cuántica consistía esencialmente en nada más que la noción de Einstein de que la luz viene en pequeños "cuantos" (paquetes discretos de energía) que nosotros ahora llamamos fotones. Bohr trató de explicar el patrón preciso de absorción y emisión de luz de los átomos. Sugirió que cada electrón está confinado a órbitas fijas dentro de "capas" atómicas y que los niveles de energía de las órbitas están "cuantificados", es decir, solo pueden tomar ciertos valores específicos.

En este modelo orbital, la energía de cualquier electrón individual está estrechamente relacionada con su proximidad al núcleo del átomo. Cuanto más cerca está un electrón del núcleo, menos energía tiene, pero puede ser excitado a niveles de energía más altos por absorción de radiación electromagnética de cierta longitud de onda. Al absorber la luz, un electrón salta a una órbita "superior" o exterior. Al alcanzar este estado superior, el electrón volverá rápidamente a la órbita de menor energía, liberando una cantidad de energía que coincida con precisión con la brecha de energía entre los dos orbitales.

Bohr no ofreció ninguna explicación de lo que esto significaba o cómo podría verse; simplemente afirmó que



Si su experimento necesita estadísticas, debe tener hecho un mejor experimento.
ernesto rutherford



caer fuera de la órbita hacia el núcleo era, para los electrones, imposible. El de Bohr era un modelo puramente teórico del átomo. Sin embargo, estuvo de acuerdo con el experimento y resolvió muchos problemas asociados con un elegante trazo. La forma en que los electrones tendrían que llenar las capas vacías en un orden estricto, alejándose progresivamente del núcleo, coincidía con la marcha de las propiedades de los elementos que se ven en la tabla periódica a medida que aumenta el número atómico. Incluso

el budín de ciruelas El modelo del átomo con los electrones esparcidos a través de un núcleo difuso fue reemplazado por el modelo de Rutherford con electrones en órbita alrededor de un núcleo pequeño y denso. Bohr refinó el modelo de Rutherford añadiendo
órbitas cuantificadas para los electrones.
Aquí, se ilustra un átomo de carbono.

más convincente fue la forma en que los niveles de energía teóricos de las capas encajan perfectamente “serie espectral”: las frecuencias de la luz absorbida y emitida por diferentes átomos. Se había realizado una forma largamente buscada de casar el electromagnetismo y la materia.

Entrando al núcleo

Una vez aceptada esta imagen del átomo nuclear, el siguiente paso fue preguntar qué había dentro del núcleo. En experimentos informados en 1919, Rutherford descubrió que sus haces de partículas alfa podían generar núcleos de hidrógeno a partir de muchos elementos diferentes. El hidrógeno había sido durante mucho tiempo reconocido como el más simple de todos los elementos y pensado como un bloque de construcción para todos los demás elementos, por lo que Rutherford propuso que el núcleo de hidrógeno era de hecho su propia partícula fundamental, el protón.

El siguiente desarrollo en la estructura atómica fue el descubrimiento del neutrón de James Chadwick en 1932, en el que Rutherford una vez más tuvo una mano. Rutherford había postulado la existencia del neutrón en 1920 como una forma de compensar el efecto repulsivo de muchos puntos de tamaño.

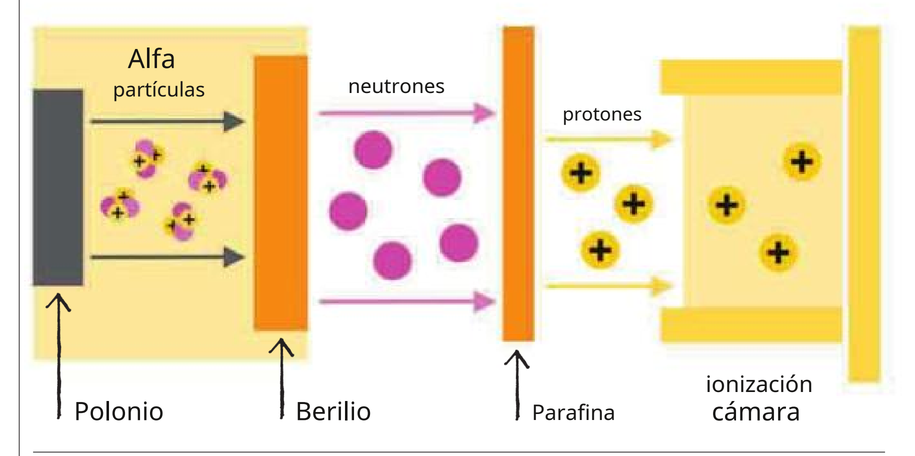


Las dificultades desaparecen si se supone que la radiación consiste en partículas de masa 1 y carga 0, o neutrones.

james chadwick



james chadwickdescubrió el neutrón bombardeando berilio con partículas alfa de polonio radiactivo. Las partículas alfa eliminaron los neutrones del berilio. Luego, los neutrones desprendieron protones de una capa de parafina, y estos protones fueron detectados por una cámara de ionización.



cargas positivas apiñadas en un pequeño núcleo. Las cargas similares se repelen entre sí, por lo que teorizó que debe haber otra partícula que de alguna manera disipa la carga o une fuertemente a los protones que se empujan entre sí. También había masa extra en elementos más pesados que el hidrógeno, lo que podría explicarse por una tercera partícula subatómica neutra pero igualmente masiva.

Sin embargo, el neutrón resultó difícil de detectar y tomó casi una década de búsqueda para encontrarlo. Chadwick estaba trabajando en el Laboratorio Cavendish bajo la supervisión de Rutherford. Guiado por su mentor, estaba estudiando un nuevo tipo de radiación que habían descubierto los físicos alemanes Walther Bothe y Herbert Becker cuando bombardearon berilio con partículas alfa.

Chadwick duplicó los resultados de los alemanes y se dio cuenta de que esta radiación penetrante era el neutrón que Rutherford había estado buscando. Una partícula neutra, como el neutrón, es mucho más penetrante que una partícula cargada, como un protón, porque no siente repulsión cuando pasa a través de la materia. Sin embargo, con una masa ligeramente superior a la de un protón, puede sacar fácilmente protones del núcleo, algo que de otro modo solo puede hacer la radiación electromagnética extremadamente energética.

Nubes de electrones

El descubrimiento del neutrón completó la imagen del átomo como un núcleo masivo con electrones en órbita a su alrededor. Nuevos descubrimientos en física cuántica refinarían nuestra visión de los electrones en órbita alrededor de un núcleo. Los modelos modernos del átomo presentan "nubes" de electrones, que

representan solo aquellas áreas en las que es más probable que encontremos un electrón, de acuerdo con su función de onda cuántica (p.256).

La imagen se ha complicado aún más con el descubrimiento de que los neutrones y los protones no son partículas fundamentales, sino que están formados por arreglos de partículas más pequeñas llamadas quarks. Las preguntas sobre la verdadera estructura del átomo siguen siendo activamente siendo investigado.

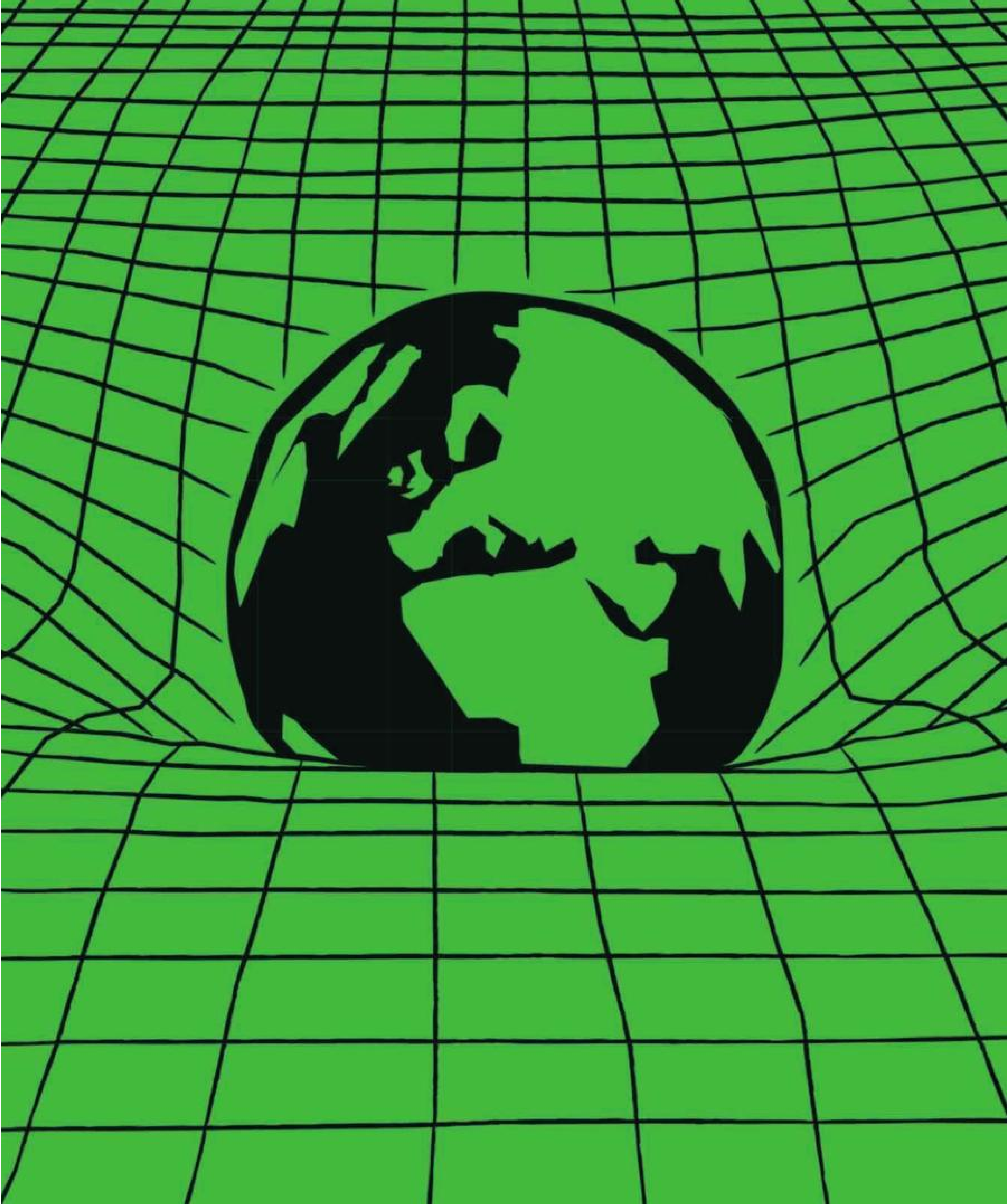
GRAVEDAD

ES UNA DISTORSIÓN EN EL

TIEMPO ESPACIAL

CONTINUO

ALBERTO EINSTEIN (1879–1955)



EN CONTEXTO

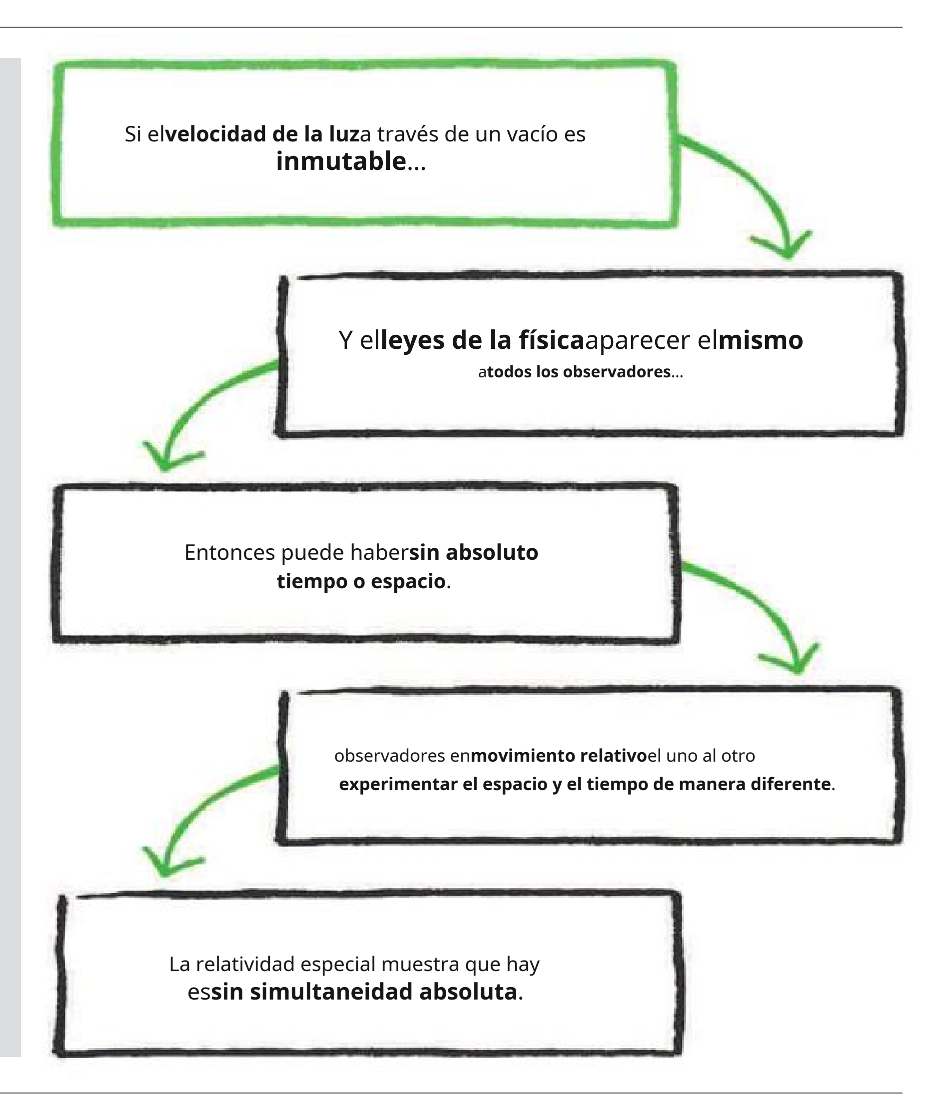
RAMA
Física

ANTES
siglo 17newtoniano
la física proporciona una descripción de la gravedad y el movimiento, que sigue siendo adecuada para la mayoría de los cálculos cotidianos.

1900 Max Planck primero argumenta que se puede considerar que la luz consiste en paquetes individuales, o "cuantos", de energía.

DESPUÉS
1917 Einstein usa la relatividad general para producir un modelo del universo. Suponiendo que el universo es estático, introduce un factor llamado constante cosmológica para evitar su colapso teórico.

1971 La dilatación del tiempo debida a la relatividad general se demuestra volando relojes atómicos de todo el mundo en aviones a reacción.



En el año 1905, la revista científica alemana*Analen der Physik*publicó cuatro artículos de un solo autor: un físico poco conocido de 26 años llamado Albert Einstein, que entonces trabajaba en la oficina de patentes de Suiza. Juntos, estos documentos sentarían las bases de gran parte de la física moderna.

Einstein resolvió algunas problemas fundamentales que habían aparecido en la comprensión científica del mundo físico hacia fines del siglo XIX. Uno de los artículos de 1905 transformó la comprensión de la naturaleza de la luz y la energía. Un segundo fue una prueba elegante de que un efecto físico observado durante mucho tiempo llamado movimiento browniano podría demostrar la existencia de átomos. Un tercero mostró la presencia de un límite máximo de velocidad para el universo y consideró los extraños efectos del mismo, conocidos como relatividad especial, mientras que el cuarto cambió para siempre nuestra comprensión de la naturaleza de la materia, mostrando que era intercambiable con la energía. Una década más tarde, Einstein siguió las implicaciones de estos últimos artículos con una teoría de la relatividad general que presentó una comprensión nueva y más profunda de la gravedad, el espacio y el tiempo.

Luz de cuantificación

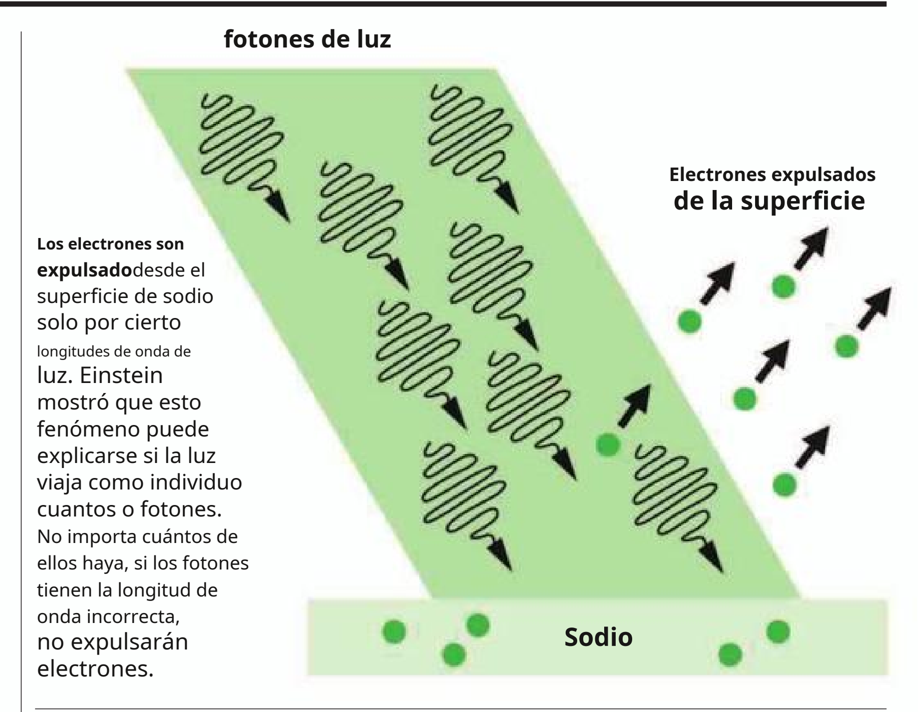
El primero de los artículos de 1905 de Einstein abordó un problema de larga data con el efecto fotoeléctrico. Este fenómeno había sido descubierto por el físico alemán Heinrich Hertz en 1887. Se trata de electrodos de metal que producen un flujo de electricidad (es decir, la emisión de electrones) cuando se ilumina con ciertas longitudes de onda de radiación, típicamente luz ultravioleta. El

Ver también: Christiaan Huygens 50–51 · Isaac Newton 62–69 · James secretario Maxwell 180–85 · Max Planck 202-05 · Erwin Schrödinger 226–33 · Edwin Hubble 236–41 · Georges Lemaître 242-45

El principio detrás de la emisión se describe con bastante facilidad en términos modernos (la energía suministrada por la radiación es absorbida por los electrones más externos en los átomos de la superficie del metal, lo que les permite liberarse). El enigma era que los mismos materiales se negaban obstinadamente a emitir electrones cuando eran iluminados por longitudes de onda más largas, sin importar cuán intensa fuera la fuente de luz.

Este era un problema para la comprensión clásica de la luz, que suponía que la intensidad, sobre todo, gobernaba la cantidad de energía que entregaba un haz de luz. El artículo de Einstein, sin embargo, aprovechó la idea de “luz cuantificada” desarrollada recientemente por Max Planck. Einstein demostró que si el haz de luz se divide en "cuantos de luz" individuales (lo que hoy llamaríamos fotones), entonces la energía transportada por cada cuanto depende solo de su longitud de onda: cuanto más corta es la longitud de onda, mayor es la energía. Si el efecto fotoeléctrico se basa en la interacción entre un electrón y un solo fotón, entonces no importa cuántos fotones bombardean la superficie (es decir, cuán intensa es la fuente de luz): si ninguno de ellos lleva suficiente energía, los electrones no se liberarán.

La idea de Einstein fue rechazada por las principales figuras de la época, incluido Planck, pero se demostró que su teoría era correcta mediante experimentos realizados por el físico estadounidense Robert Millikan en 1919.



Los electrones son expulsados desde el superficie de sodio solo por cierto longitudes de onda de luz. Einstein mostró que esto fenómeno puede explicarse si la luz viaja como individuo cuantos o fotones. No importa cuántos de ellos haya, si los fotones tienen la longitud de onda incorrecta, no expulsarán electrones.



El gran objetivo de toda ciencia. es cubrir el mayor número de hechos empíricos deducción lógica de la menor número de hipótesis o axiomas.
Albert Einstein



Relatividad especial

El mayor legado de Einstein nació en los artículos tercero y cuarto de 1905, que también implicaron una importante reconceptualización de la verdadera naturaleza de la luz. Desde finales del siglo XIX, los físicos habían enfrentaron una crisis en sus intentos de comprender la velocidad de la luz. Su valor aproximado se conocía y calculaba con una precisión cada vez mayor desde el siglo XVII, mientras que las ecuaciones de James Clerk Maxwell habían demostrado que la luz visible era solo una manifestación de un espectro más amplio de ondas electromagnéticas, todas las cuales deben moverse a través del universo a una sola velocidad.

Dado que se entendía que la luz era una onda transversal, se asumió que se propagaba a través de un medio, tal como las ondas de agua viajan sobre la superficie de un estanque. Las propiedades de esta hipotética sustancia, conocida como “éter luminífero”, darían lugar a las propiedades observadas de las ondas electromagnéticas, y dado que no podrían alterarse de un lugar a otro, proporcionarían un estándar absoluto de reposo.

Una consecuencia esperada del éter fijo era que la velocidad de la luz de los objetos distantes debería variar según el movimiento relativo de la fuente y el observador. Por ejemplo, la velocidad de la luz de una estrella distante debería variar

significativamente dependiendo de si se observó desde un lado de la órbita de la Tierra, cuando nuestro planeta se alejaba de ella a 20 millas/s (30 km/s), o desde el lado opuesto, cuando el observador se movía hacia él a una velocidad similar. .

Medir el movimiento de la Tierra a través del éter se convirtió en una obsesión para los físicos de finales del siglo XIX. Tal medida era la única forma de confirmar la existencia de esta misteriosa sustancia y, sin embargo, la prueba seguía siendo difícil de alcanzar. Por muy preciso que fuera el equipo de medición, la luz siempre parecía moverse a la misma velocidad. En 1887, los físicos estadounidenses Albert Michelson y Edward Morley idearon un ingenioso experimento para medir la

llamado viento de éter con alta precisión, pero una vez más no encontró evidencia de su existencia. El resultado negativo del experimento de Michelson-Morley sacudió la creencia en la existencia del éter, y los resultados similares de los intentos de repetirlo durante las décadas siguientes solo intensificaron la sensación de crisis.

El tercer artículo de Einstein de 1905, *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, se enfrentó al problema



La masa y la energía son ambas, pero manifestaciones diferentes. de lo mismo
Albert Einstein




De frente. La relatividad especial, como se conoció su teoría, se desarrolló a partir de la aceptación de dos postulados simples: que la luz se mueve a través del vacío con una velocidad fija que es independiente del movimiento de la fuente, y que las leyes de la física deberían parecer iguales a observadores en todos los marcos de referencia "inerciales", es decir, aquellos que no están sujetos a fuerzas externas como la aceleración.

Sin duda, a Einstein le ayudó a aceptar el primer postulado audaz su aceptación previa de la naturaleza cuántica de la luz.

paquetes de energía electromagnética, capaces de viajar a través del vacío del espacio con partículas manteniendo sus propiedades ondulatorias.

Aceptando estos dos postulados, Einstein consideró las consecuencias para el resto de la física, y la mecánica en particular. Para que las leyes de la física se comporten de la misma manera en todos los marcos de referencia inerciales, necesariamente parecerán diferentes al mirar de un marco a otro. Solo importaba el movimiento relativo, y cuando el movimiento relativo entre dos marcos de referencia separados se acercó a la velocidad de la luz (velocidades “relativistas”) comenzaron a suceder cosas extrañas.

El factor Lorentz

Aunque el artículo de Einstein no hizo referencias formales a otras publicaciones científicas, sí mencionó el trabajo de un puñado de otros científicos contemporáneos, ya que Einstein ciertamente no fue la única persona que trabajó para encontrar una solución poco ortodoxa a la crisis del éter. Quizás el más significativo de ellos fue el físico holandés

Albert Einstein



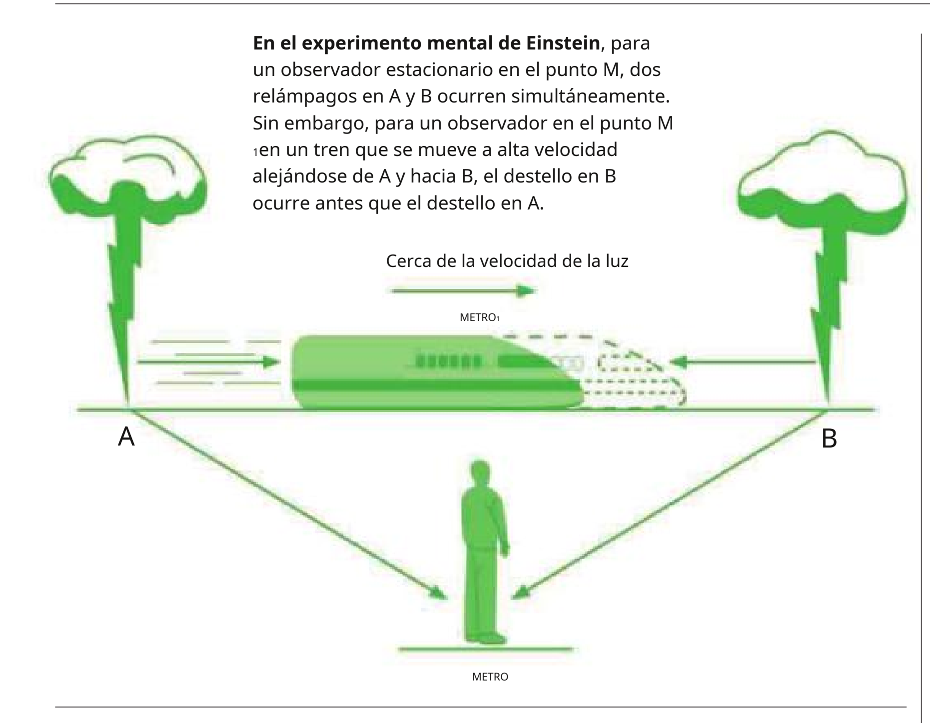
Nacido en la ciudad de Ulm, en el sur de Alemania, en 1879, Einstein tuvo una educación secundaria un tanto accidentada y finalmente se formó en el Politécnico de Zúrich para convertirse en profesor de matemáticas. Después de no poder encontrar trabajo docente, tomó un trabajo en la Oficina Suiza de Patentes en Berna, donde tuvo mucho tiempo libre para desarrollar los artículos publicados en 1905. Atribuyó su éxito en este trabajo al hecho de que nunca había perdido su sentido de asombro infantil.

Tras la demostración de la relatividad general, Einstein fue impulsado al estrellato mundial.

Continuó explorando las implicaciones de su trabajo anterior, contribuyendo a las innovaciones en la teoría cuántica. En 1933, temiendo el ascenso del partido nazi, Einstein decidió no regresar a Alemania de una gira por el extranjero y finalmente se instaló en la Universidad de Princeton en los Estados Unidos.

Trabajos clave

1905 *Sobre un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de la luz*
1915 *Las ecuaciones de campo de la gravitación*



En el experimento mental de Einstein, para un observador estacionario en el punto M, dos relámpagos en A y B ocurren simultáneamente. Sin embargo, para un observador en el punto M $_1$en un tren que se mueve a alta velocidad alejándose de A y hacia B, el destello en B ocurre antes que el destello en A.

Hendrik Lorentz, cuyo "factor de Lorentz" se encuentra en el corazón de la descripción de Einstein de la física cercana a la velocidad de la luz. se define matemáticamente como:

$$\frac{1}{\sqrt{1-v^2/C^2}}$$

Lorentz desarrolló esta ecuación para describir los cambios en las medidas de tiempo y longitud requeridas para reconciliar las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo con el principio de la relatividad.

Fue crucial para Einstein, ya que proporcionó un término para transformar los resultados vistos por un observador para mostrar cómo se ven para otro observador que está en movimiento en relación con el primer observador. En el término antes citado, v es la velocidad de un observador en comparación con el otro, y C es la velocidad de la luz. En la mayoría de las situaciones, v será muy pequeño en comparación con C, entonces v^2/C^2 estará cerca de cero, y el factor de Lorentz cerca de 1, lo que significa que casi no hace ninguna diferencia en los cálculos.

El trabajo de Lorentz había sido recibido con frialdad, en gran parte porque no podía incorporarse a las teorías estándar del éter. Einstein abordó el problema desde la otra dirección, mostrando que el factor de Lorentz surgió como una consecuencia inevitable del principio de la relatividad especial y reexaminando el verdadero significado de los intervalos de tiempo y distancia medidos. Un resultado importante de esto fue la comprensión de que los eventos que parecían simultáneos para un observador en un marco de referencia no lo eran necesariamente para él.

alguien en un marco de referencia diferente (un fenómeno conocido como la relatividad de la simultaneidad). Einstein también mostró cómo, desde el punto de vista de un observador distante, la longitud de los objetos en movimiento en su dirección de viaje se comprimía a medida que se acercaban a la velocidad de la luz, de acuerdo con una ecuación simple gobernada por el factor de Lorentz. Aún más extraño, el tiempo mismo parece correr más lentamente medido desde el marco de referencia del observador.

Ilustrando la relatividad

Einstein ilustró la relatividad especial al pedirnos que consideráramos dos marcos de referencia en movimiento uno respecto del otro: un tren en movimiento y el terraplén al lado. Dos relámpagos, en los puntos A y B, parecen ocurrir simultáneamente a un observador que está parado en el terraplén en un punto medio entre ellos, M.

Un observador en el tren está en una posición M_1 en un marco de referencia separado. Cuando se producen los destellos, M_1 puede estar pasando justo por M. Sin embargo, en el momento en que la luz llega al observador en el tren, el tren se ha movido hacia el punto B y se ha alejado del punto A. Como dice Einstein, el observador "está viajando delante del haz de luz procedente de A". El observador en el tren concluye que el rayo B ocurrió antes del rayo A. Einstein ahora insiste en que: "A menos que se nos diga el cuerpo de referencia al que se refiere la declaración de tiempo, no tiene significado en una declaración de tiempo de un evento ." Tanto el tiempo como la posición son conceptos relativos.

Equivalencia masa-energía

El último de los artículos de 1905 de Einstein se llamó *¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido energético?* Sus tres breves páginas ampliaron una idea mencionada en el artículo anterior: que la masa de un cuerpo es una medida de su energía. Aquí, Einstein demostró que si un cuerpo irradia una cierta cantidad de energía (*mi*) en forma de radiación electromagnética, su masa disminuirá en una cantidad equivalente a *mi*/C^2. Esta ecuación se reescribe fácilmente para mostrar que la energía de una partícula estacionaria--

dentro de un marco de referencia particular está dada por la ecuación*mi*=*mc* 2. Este principio de "equivalencia masa-energía" se convertiría en la piedra angular de la ciencia del siglo XX, con aplicaciones que van desde la cosmología hasta la física nuclear.

campos de gravitación

Aunque los artículos de Einstein en ese *annus mirabilis*Parecía demasiado oscuro al principio para causar mucha impresión más allá del enrarecido mundo de la física, lo impulsó a la fama dentro de esa comunidad.

Nuestro**experiencia de gravedad**es equivalente a el de estar dentro de un **acelerando constantemente** marco de referencia.

La aceleración puede ser explicado por un **distorsión**en el **variedad de espacio-tiempo**.

Si**objetos con masa** distorsionar el espacio-tiempo, esto explica su atracción gravitacional.

Relatividad general explica la gravedad como una distorsión en la variedad espacio-tiempo.

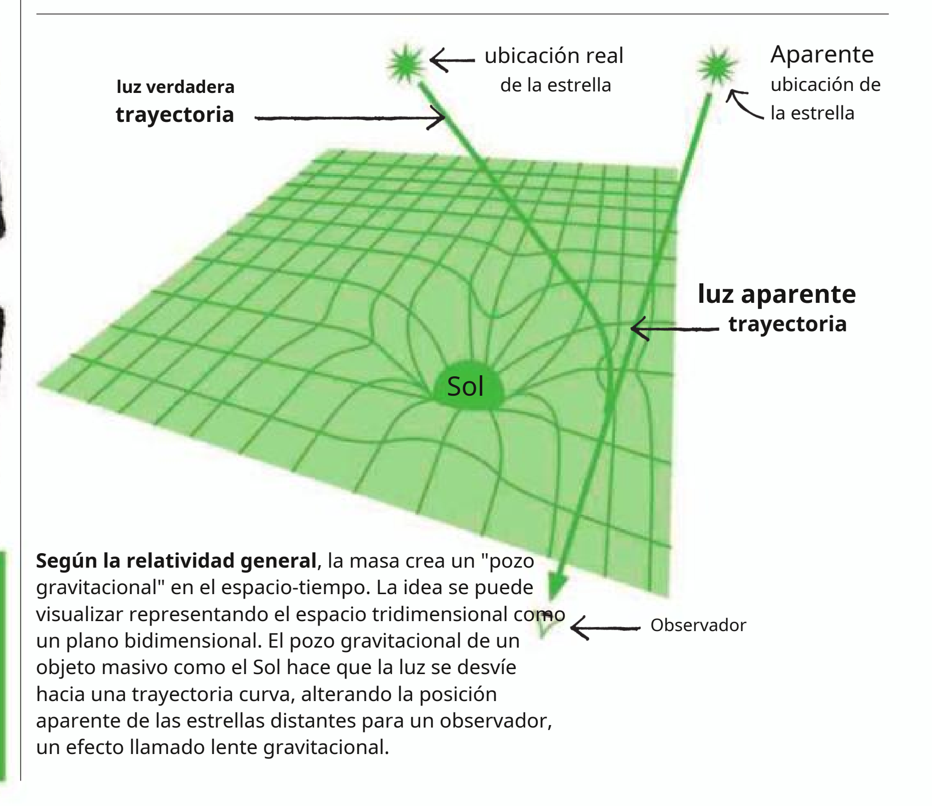
Durante los años siguientes, muchos científicos llegaron a la conclusión de que la relatividad especial ofrecía una mejor descripción del universo que la desacreditada teoría del éter e idearon experimentos que demostraron los efectos relativistas en acción. Mientras tanto, Einstein ya estaba avanzando hacia un nuevo desafío, extendiendo los principios que ahora había establecido para considerar situaciones "no inerciales": aquellas que involucran

aceleración y desaceleración.

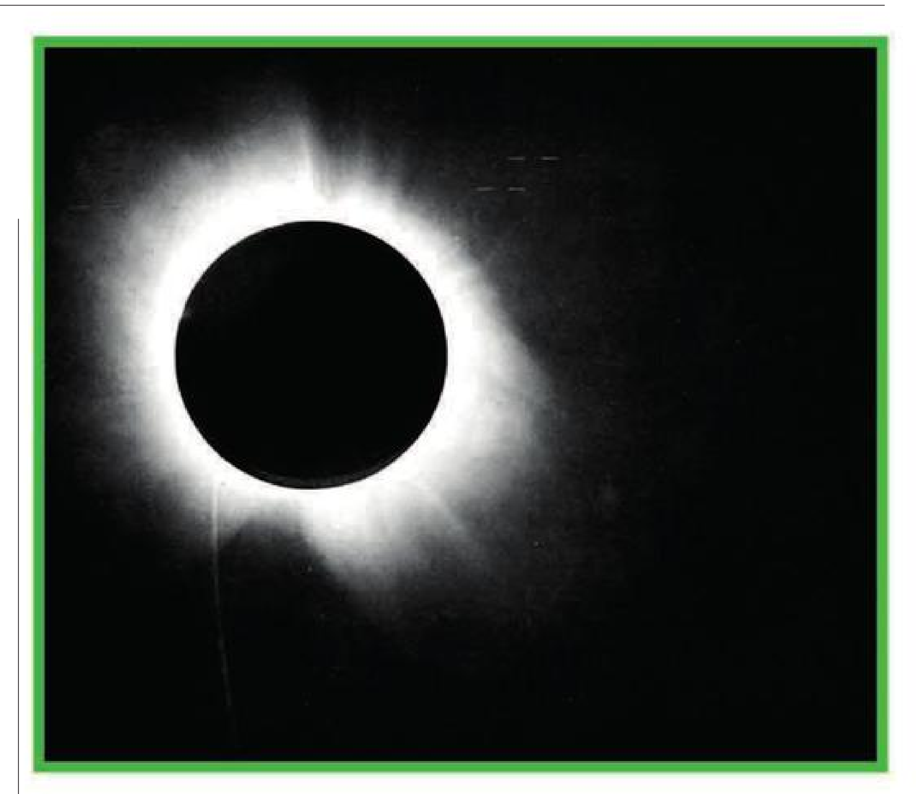
Ya en 1907, Einstein había dado con la idea de que una situación de “caída libre” bajo la influencia de la gravedad es igual a una situación de inercia: el principio de equivalencia. En 1911, se dio cuenta de que un marco de referencia estacionario influenciado por un campo gravitatorio es equivalente a uno que sufre una aceleración constante. Einstein ilustró esta idea imaginando una persona de pie en un ascensor sellado en un espacio vacío. El ascensor está siendo acelerado en una dirección por un cohete. La persona siente una fuerza que empuja hacia arriba desde el suelo y empuja contra el suelo con una fuerza igual y opuesta siguiendo la Tercera Ley de Newton. Einstein se dio cuenta de que la persona en el ascensor se sentiría exactamente igual que si estuviera parada en un campo gravitatorio.

En un ascensor con aceleración constante, un rayo de luz disparado en un ángulo perpendicular a la aceleración sería desviada hacia una trayectoria curva, y Einstein razonó que lo mismo ocurriría en un campo gravitatorio. Fue este efecto de la gravedad sobre la luz, conocido como lente gravitacional, lo que primero demostrar la relatividad general.

Einstein consideró lo que esto decía sobre la naturaleza de la gravedad.



Según la relatividad general, la masa crea un "pozo gravitacional" en el espacio-tiempo. La idea se puede visualizar representando el espacio tridimensional como un plano bidimensional. El pozo gravitacional de un objeto masivo como el Sol hace que la luz se desvíe hacia una trayectoria curva, alterando la posición aparente de las estrellas distantes para un observador, un efecto llamado lente gravitacional.



Las fotografías de Arthur Eddingtonde un eclipse solar en 1919 proporcionó la primera evidencia de la relatividad general. Las estrellas alrededor del Sol aparecían fuera de lugar, tal como había predicho Einstein.

En particular, predijo que los efectos relativistas, como la dilatación del tiempo, deberían ocurrir en campos gravitatorios intensos. Cuanto más cerca esté un reloj de una fuente de gravitación, más lentamente marcará el tictac. Este efecto siguió siendo puramente teórico durante muchos años, pero ahora se ha confirmado utilizando relojes atómicos.

Variedad de espacio-tiempo

Mientras tanto, también en 1907, el antiguo tutor de Einstein, Hermann Minkowski, había dado con otra parte importante del rompecabezas. Teniendo en cuenta las compensaciones efectivas entre las dimensiones del espacio y el tiempo involucradas en la relatividad especial, desarrolló la idea de combinar las tres dimensiones del espacio con una del tiempo en una variedad de espacio-tiempo. en Minkowski interpretación, los efectos relativistas podrían describirse en términos geométricos al considerar las distorsiones en la forma en que los observadores en movimiento relativo observan la variedad en un marco de referencia diferente.

En 1915, Einstein publicó su teoría completa de la relatividad general. En su forma final, era nada menos que una nueva descripción de la naturaleza del espacio, el tiempo, la materia y la gravedad. Adoptando las ideas de Minkowski, Einstein vio la "materia del universo" como una variedad de espacio-tiempo que podía distorsionarse gracias al movimiento relativista, pero que también podía distorsionarse por la presencia de grandes masas, como estrellas y planetas, de una manera que se experimentaba. como la gravedad. Las ecuaciones que describían el vínculo entre masa, distorsión y gravedad eran diabólicamente complejas, pero Einstein utilizó una aproximación para resolver un misterio de larga data: la forma en que Mercurio se acerca más al Sol (afelio) precesa, o rota, alrededor del Sol mucho más rápido que lo predicho por la física newtoniana. La relatividad general resolvió el rompecabezas.

lente gravitacional

Einstein publicó en un momento en que gran parte del mundo estaba arrasado por la Primera Guerra Mundial, y los científicos de habla inglesa tenían otras cosas en mente. La relatividad general era una teoría compleja y podría haber languidecido en la oscuridad durante muchos años si no hubiera sido por la interés de Arthur Eddington, objetor de conciencia de la guerra y, casualmente, secretario de la Royal Astronomical Society.

Eddington se dio cuenta del trabajo de Einstein gracias a las cartas del físico holandés Willem de Sitter y pronto se convirtió en su principal defensor en Gran Bretaña. En 1919, Unos meses después del final de la guerra, Eddington dirigió una expedición a la isla de Príncipe, frente a la costa occidental de África, para probar la teoría de la relatividad general y su predicción de lentes gravitacionales en las circunstancias más espectaculares. Einstein había predicho ya en 1911 que un eclipse solar total permitiría ver los efectos de las lentes gravitatorias, en forma de estrellas aparentemente fuera de lugar alrededor del disco eclipsado (como resultado de la desviación de su luz al pasar a través del disco deformado). espacio-tiempo alrededor del Sol). La expedición de Eddington entregó imágenes impresionantes del eclipse solar y pruebas convincentes de la teoría de Einstein. Cuando se publicaron al año siguiente, resultaron ser una sensación mundial,



LA DERIVA DE LA TIERRA LOS CONTINENTES SON PIEZAS GIGANTES EN UN ROMPECABEZAS EN SIEMPRE CAMBIO

ALFRED WEGENER (1880-1930)

EN CONTEXTO

RAMA

Ciencia de la Tierra

ANTES

1858 Antonio Snider-Pellegrini hace un mapa de las Américas conectadas con Europa y África, para dar cuenta de fósiles idénticos encontrados en lados opuestos del Océano Atlántico.

1872geógrafo francés Élisée Reclus propone que el movimiento de los continentes provocó la formación de los océanos y las cadenas montañosas.

1885 Eduard Suess sugiere que los continentes del sur alguna vez estuvieron unidos por puentes terrestres.

DESPUÉS

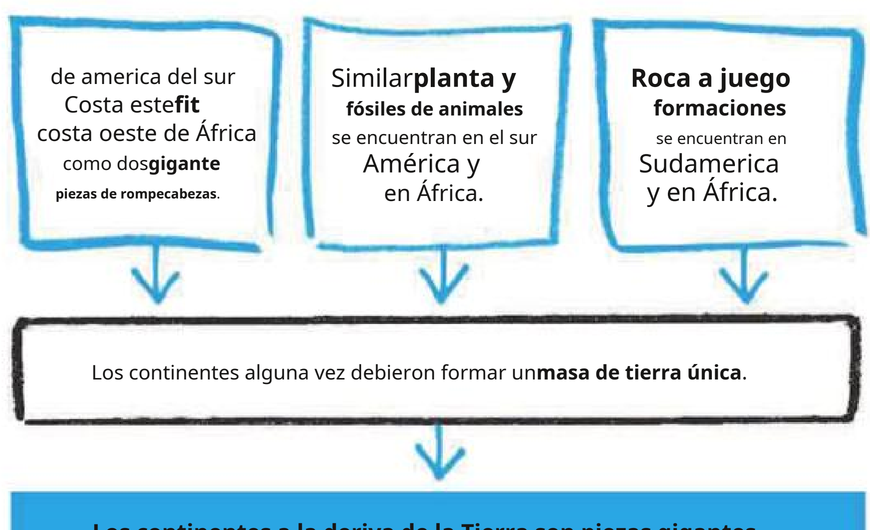
1944 El geógrafo británico Arthur Holmes propone corrientes de convección en el manto terrestre como el mecanismo que mueve la corteza en la superficie.

1960 El geólogo estadounidense Harry Hess propone que la expansión del fondo marino empuja a los continentes a separarse.

In 1912, el meteorólogo alemán Alfred Wegener combinó varios hilos de evidencia para presentar una teoría de la deriva continental, que sugería que los continentes de la Tierra alguna vez estuvieron conectados pero se separaron durante millones de años. Los científicos solo aceptaron su teoría una vez que descubrieron qué hizo que se movieran esas vastas masas de tierra.

Mirando los primeros mapas del Nuevo Mundo y África, Francis Bacon había notado, en 1620, que el Las costas orientales de las Américas son aproximadamente paralelas a las costas occidentales de Europa y África. Esto llevó a los científicos a especular que estas masas terrestres alguna vez estuvieron conectadas, desafiando las nociones convencionales de un planeta sólido e inmutable.

En 1858, el geógrafo con sede en París Antonio Snider-Pellegrini mostró que se habían encontrado fósiles de plantas similares a ambos lados del Atlántico, que datan del período Carbonífero, hace 359–299 millones de años.



Ver también: francisco tocino 45 · Nicolás Steno 55 · James Hutton 96-101 · Luis Agassiz 128–29 · Carlos Darwin 142–49

Hizo mapas que mostraban cómo los continentes americano y africano alguna vez encajaron, y atribuyó su separación al Diluvio bíblico. Cuando los fósiles de *Glossopteris* Se encontraron helechos en América del Sur, India y África, el geólogo austriaco Eduard Suess argumentó que deben haber evolucionado en una sola masa de tierra. Sugirió que los continentes del sur alguna vez estuvieron unidos por puentes terrestres a través del mar, formando un supercontinente que llamó Gondwanaland.

Wegener encontró más ejemplos de organismos similares separados por océanos, pero también cadenas montañosas y depósitos glaciales similares. En lugar de las ideas anteriores de que partes de un supercontinente se habían hundido bajo las olas, pensó que tal vez se había dividido. Entre 1912 y 1929 amplió esta teoría. Su supercontinente, Pangea, conectaba Gondwanaland de Suess con los continentes del norte de América del Norte y Eurasia. Wegener fechó la fragmentación de esta única masa de tierra al final de la era Mesozoica, 150 millones de años. hace, y señaló al Gran Valle del Rift de África como evidencia de la ruptura continental en curso.

Buscar un mecanismo

La teoría de Wegener fue criticada por los geofísicos por no explicar cómo se mueven los continentes. Sin embargo, en la década de 1950, las nuevas técnicas geofísicas revelaron una gran cantidad de datos nuevos. Los estudios del pasado campo magnético de la Tierra indicaron que los antiguos continentes se encontraban en una posición diferente en relación con los polos. El mapeo de sonar del lecho marino reveló signos de formación más reciente del fondo oceánico. Se descubrió que esto ocurre en las dorsales en medio del océano, cuando la roca fundida entra en erupción a través de las grietas en la corteza terrestre y se aleja de las dorsales a medida que entra en erupción nueva roca.

En 1960, Harry Hess se dio cuenta de que la expansión del fondo marino proporcionaba el mecanismo para la deriva continental y presentó su teoría de la tectónica de placas. La corteza terrestre está formada por placas gigantes que se desplazan continuamente a medida que las corrientes de convección en el manto inferior traen nuevas rocas a la superficie, y es la formación y destrucción de la corteza oceánica que conduce al desplazamiento de los continentes. Esta teoría no solo reivindicó a Wegener, sino que ahora es la base de la geología moderna.



Pangea, hace 200 millones de años



hace 75 millones de años



En la actualidad

supercontinente de wegener es sólo uno en una larga serie. Los geólogos creen que los continentes pueden estar convergiendo nuevamente para formar otro supercontinente dentro de 250 millones de años.

alfredo wegener



Nacido en Berlín, Alfred Lothar Wegener obtuvo un doctorado en astronomía de la Universidad de Berlín en 1904, pero pronto se interesó más por las ciencias de la tierra. Entre 1906 y 1930 realizó cuatro viajes a Groenlandia como parte de sus pioneros estudios meteorológicos de las masas de aire del Ártico. Usó globos meteorológicos para rastrear la circulación del aire y tomó muestras de las profundidades del hielo en busca de evidencia de climas pasados.

Entre estas expediciones, Wegener desarrolló su teoría de la deriva continental en 1912 y la publicó en un libro en 1915. produjo ediciones revisadas y ampliadas en 1920, 1922 y 1929, pero se sintió frustrado por la falta de reconocimiento de su trabajo.

En 1930, Wegener dirigió una cuarta expedición a Groenlandia, con la esperanza de recopilar pruebas en apoyo de la teoría de la deriva. El 1 de noviembre, cuando cumplió 50 años, partió a través del hielo para obtener los suministros que tanto necesitaba, pero murió antes de llegar al campamento principal.

Obra clave

1915 *El origen de los continentes y océanos*



CROMOSOMAS DESEMPEÑAR UN PAPEL EN HERENCIA

THOMAS HUNT MORGAN (1866-1945)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES

1866 Gregor Mendel describe las leyes de la herencia y concluye que las características heredadas están controladas por partículas discretas, más tarde llamadas genes.

1900 El botánico holandés Hugo de Vries reafirma las leyes de Mendel.

1902 Theodor Boveri y Walter Sutton concluyen de forma independiente que los cromosomas están involucrados en la herencia.

DESPUÉS

1913 El alumno de Morgan, Alfred Sturtevant, construye el primer “mapa” genético de la mosca de la fruta.

1930 Barbara McClintock descubre que los genes pueden cambiar de posición en los cromosomas.

1953 El modelo de ADN de doble hélice de James Watson y Francis Crick explica cómo se transmite la información genética durante la reproducción.

Cuando las células se dividen, sus**cromosomas**dividir y replicar de manera que**paralelo al surgimiento de características heredadas**.

Esto sugiere que**genes**controlar estas características**ocurren en los cromosomas**.

Algunas características dependen de**el sexo del organismo**, por lo que debe ser controlado por sexo-determinar los cromosomas.

cromosomas **desempeñar un papel** **en la herencia.**

Durante el siglo XIX, los biólogos que observaban la división celular bajo un microscopio notaron la aparición de pares de hilos diminutos en el núcleo de cada célula. Estos hilos podían teñirse con tintes para su observación y llegaron a llamarse cromosomas, que significa "cuerpos coloreados". Los biólogos pronto comenzaron a preguntarse si los cromosomas tenían algo que ver con la herencia.

En 1910, los experimentos realizados por el genetista estadounidense Thomas Hunt Morgan confirmarían la funciones de los genes y los cromosomas en la herencia, explicando la evolución a nivel molecular.

Partículas de herencia

A principios del siglo XX, los científicos habían rastreado los movimientos precisos de los cromosomas en la división celular y notaron que la cantidad de cromosomas variaba entre las especies, pero que la cantidad en las células del cuerpo de la misma especie solía ser la misma. En 1902, el biólogo alemán Theodor Boveri, tras estudiar la fecundación de un mar

Ver también: Gregor Mendel 166–71 Bárbara McClintock 271
James Watson y Francis Crick 276–83 Miguel Syvanen 318–19

urchin, llegó a la conclusión de que los cromosomas de un organismo tenían que estar presentes en un juego completo para que un embrión se desarrollara correctamente. Más tarde ese mismo año, un estudiante estadounidense llamado Walter Sutton concluyó a partir de su trabajo sobre saltamontes que los cromosomas podrían incluso reflejar las "partículas de herencia" teóricas propuestas en 1866 por Gregor Mendel.

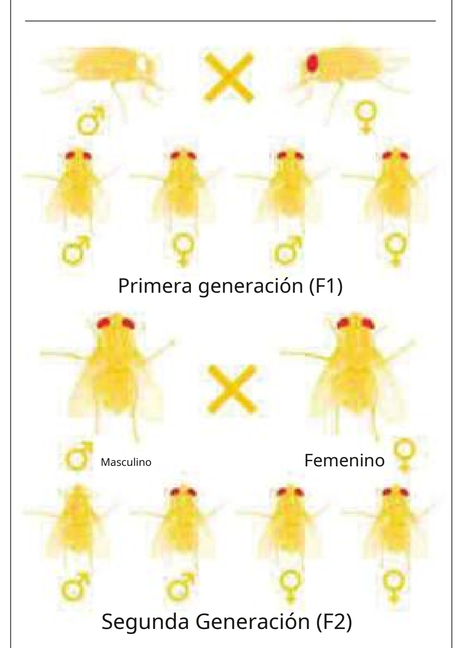
Mendel había realizado experimentos exhaustivos en el cultivo de plantas de guisantes y, en 1866, sugirió que sus características heredadas estaban determinadas por partículas discretas. Cuatro décadas más tarde, para probar el vínculo entre los cromosomas y la teoría de Mendel, Morgan se embarcó en una investigación que combinaría experimentos de reproducción con la microscopía moderna, en lo que se conoció como la "Sala de las moscas" en Universidad de Columbia, Nueva York.

De los guisantes a las moscas de la fruta

Moscas de la fruta (*drosófila*) son insectos del tamaño de un mosquito que se pueden criar en pequeñas botellas de vidrio y pueden producir la próxima generación, con una gran cantidad de descendientes, en solo 10 días. Esto hizo que la mosca de la fruta fuera ideal para estudiar la herencia. El equipo de Morgan aisló y cruzó moscas con características particulares y luego analizó las proporciones de las variaciones en la descendencia, tal como lo había hecho Mendel con sus guisantes.

Morgan finalmente corroboró los resultados de Mendel después de que vio a un hombre con ojos blancos en lugar del rojo normal. El apareamiento de un macho de ojos blancos con una hembra de ojos rojos produjo solo crías de ojos rojos, lo que sugirió que el rojo era un rasgo dominante y el blanco era recesivo. Cuando esos descendientes se cruzaron, uno de cada cuatro de la siguiente generación fue de ojos blancos, y siempre macho. El "gen blanco" debe estar ligado al sexo. Cuando aparecieron otros rasgos relacionados con el sexo, Morgan concluyó que todos estos rasgos deben heredarse conjuntamente y que los genes responsables de ellos deben estar todos en el cromosoma que determina el sexo. Las hembras tenían un par de cromosomas X, mientras que los machos tenían un X y un Y. Durante la reproducción, la descendencia hereda un X de la madre y un X o un Y del padre. El "gen blanco" lo lleva el cromosoma X. El cromosoma Y no tiene un gen correspondiente.

El trabajo posterior llevó a Morgan a la idea de que los genes específicos no solo estaban ubicados en cromosomas específicos, sino que ocupaban posiciones particulares en ellos. Esto abrió la idea de que los científicos podrían "mapear" los genes de un organismo.



Cruzamiento de moscas de la frutadurante dos generaciones muestra cómo el rasgo de ojos blancos se transmite solo a algunos machos, a través de los cromosomas sexuales.



thomas caza morgan

Nacido en Kentucky, EE. UU., Thomas Hunt Morgan se formó como zoólogo antes de ir para estudiar el desarrollo de los embriones. Después de trasladarse a la Universidad de Columbia en Nueva York en 1904, comenzó a centrarse en el mecanismo de la herencia. Inicialmente escéptico de las conclusiones de Mendel, e incluso de las de Darwin, se centró sus esfuerzos en la cría de moscas de la fruta para probar sus ideas sobre la genética. Su éxito con las moscas de la fruta llevaría a muchos investigadores a utilizarlas en experimentos genéticos.

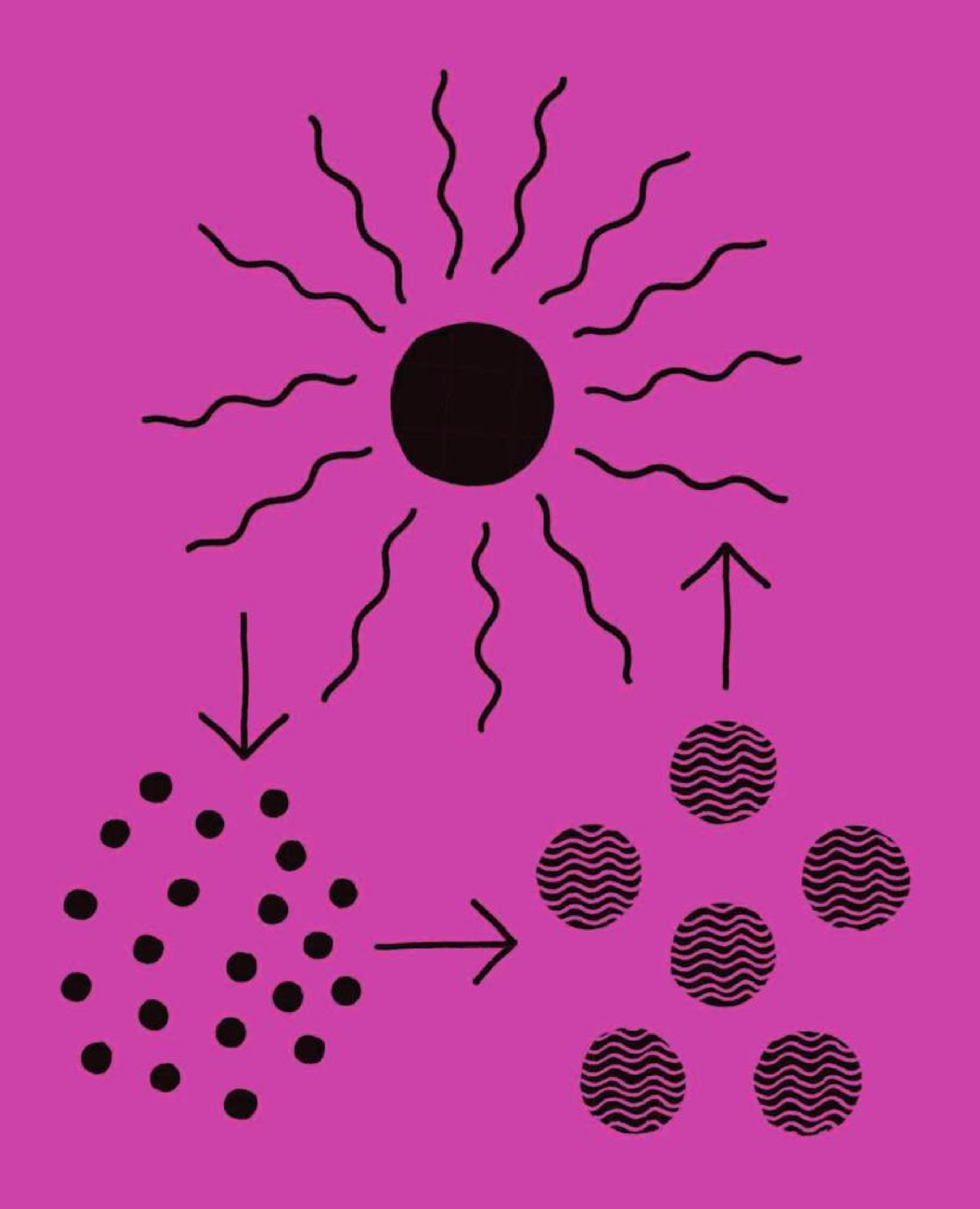
La observación de Morgan de mutaciones estables y heredadas en moscas de la fruta finalmente lo llevó a darse cuenta de que Darwin tenía razón, y en 1915 publicó un trabajo que explicaba cómo funcionaba la herencia de acuerdo con Leyes de Mendel. morgan continuó sus investigaciones en el Instituto Tecnológico de California (Caltech) y, en 1933, fue galardonado con el Premio Nobel de Genética.

Trabajos clave

1910*Herencia limitada al sexo en*drosófila
1915*El mecanismo de la herencia mendeliana*
1926*La teoría del gen*

PARTICULAS TENER ONDA PROPIEDADES

ERWIN SCHRÖDINGER (1887–1961)



EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1900 Una crisis en la comprensión de la luz. inspira a Max Planck a encontrar una solución teórica que implica tratar la luz como paquetes de energía cuantificados.

1905 Albert Einstein demuestra la realidad de la luz cuantizada de Planck a través de su explicación del efecto fotoeléctrico.

1913 El modelo del átomo de Niels Bohr utiliza la idea de que los electrones que se desplazan entre los niveles de energía dentro de un átomo emiten o absorben cuantos individuales de luz (fotones).

DESPUÉS
1930 El trabajo de Schrödinger, junto con el de Paul Dirac y Werner Heisenberg, constituye la base de la física de partículas moderna.

mirwin Schrödinger fue una figura clave en el avance de la física cuántica: la ciencia que explica los niveles más pequeños de la materia subatómica. Su contribución estelar fue una famosa ecuación que mostraba cómo las partículas se movían en ondas. Formó la base de la mecánica cuántica actual y revolucionó la forma en que percibimos el mundo. Pero esta revolución no sucedió de repente. El proceso de descubrimiento fue largo, con muchos pioneros en el camino.

La teoría cuántica se limitó originalmente a la comprensión de la luz. En 1900, como parte de un intento de resolver un problema preocupante en física teórica conocido como la "catástrofe ultravioleta", el físico alemán Max Planck propuso tratar la luz como si viniera en paquetes discretos, o cuantos, de energía. Albert Einstein luego dio el siguiente paso y argumentó que los cuantos de luz eran de hecho un fenómeno físico real.

El físico danés Niels Bohr sabía que la idea de Einstein decía algo fundamental sobre la naturaleza de la luz y los átomos, y en 1913 la usó para resolver un viejo problema: la precisión longitudes de onda de la luz emitida cuando se calentaban ciertos elementos. Modelando la estructura del átomo con electrones orbitando en "capas" discretas cuya distancia desde el núcleo determinaba su energía, Bohr pudo explicar los espectros de emisión (distribución de las longitudes de onda de la luz) de los átomos en términos de fotones de energía emitidos cuando los electrones saltaban entre ellos. órbitas. Sin embargo, el modelo de Bohr carecía de una explicación teórica y solo podía predecir las emisiones del hidrógeno, el átomo más simple.

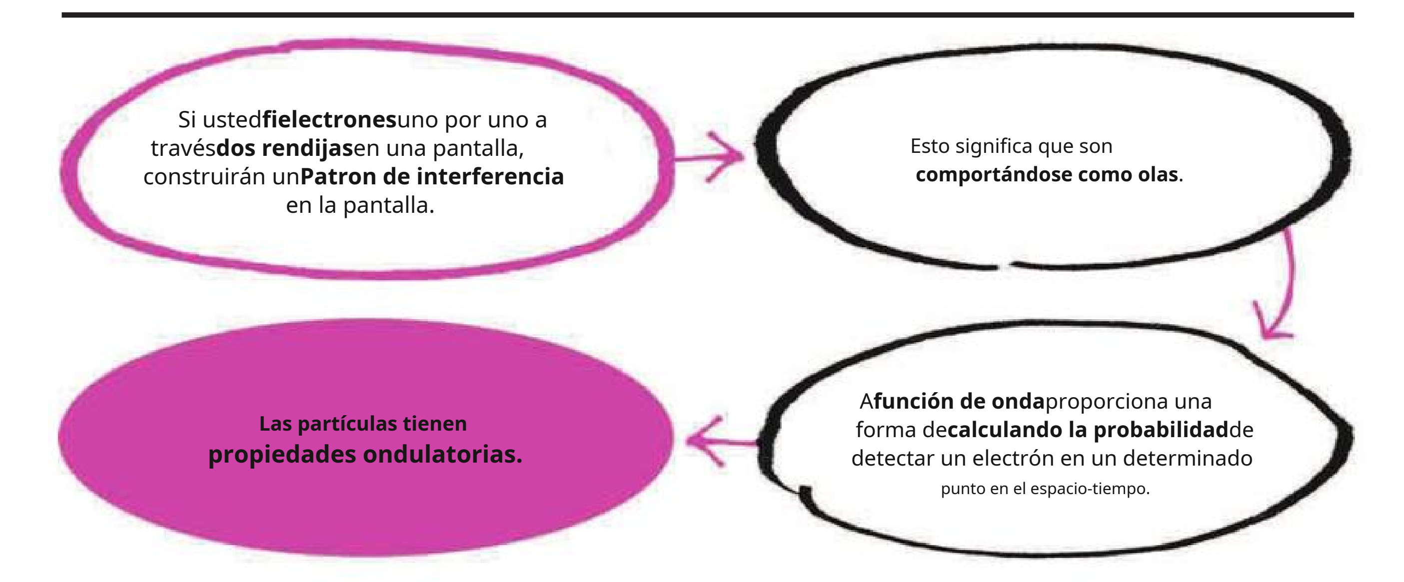
¿Átomos ondulatorios?

La idea de Einstein había insuflado nueva vida a la vieja teoría de la luz como corrientes de partículas, aunque también se había probado la luz, a través de la doble rendija de Thomas Young. experimento, para comportarse como una onda. El enigma de cómo la luz podría ser partícula y onda recibió un nuevo giro en 1924 de

1927 vio una reuniónde grandes en la Conferencia Solvay de física en Bruselas. Entre otros están:**1**. Schrodinger, **2**. pauli, **3**. Heisenberg,**4**. Dirac, **5**. de Broglie,**6**. Nacido,**7**. Bohr,**8**. Planck, **9**. Curie,**10**. Lorentz,**11**. Einstein.



Ver también: Tomás joven 110–11 Albert Einstein 214–21 Werner Heisenberg 234-35 Pablo Dirac 246-47
Ricardo Feynman 272–73 Hugo Everett III 284–85



un estudiante de doctorado francés, Louis de Broglie, cuya sugerencia llevó a la revolución cuántica a una nueva fase dramática. De Broglie no sólo demostró con un simple ecuación de cómo, en el mundo subatómico, las partículas podrían ser igualmente ondas, también mostró cómo cualquier objeto, de cualquier masa, podría comportarse como una onda hasta cierto punto. En otras palabras, si las ondas de luz tuvieran propiedades similares a las de las partículas, entonces las partículas de materia, como los electrones, deberían tener propiedades similares a las de las ondas.

Planck había calculado la energía de un fotón de luz con la simple ecuación*mi* =*hv*,dónde*mi* es la energía de los cuantos electromagnéticos,*v*es la longitud de onda de la radiación involucrada, y*h*es una constante, hoy conocida como la constante de Planck. De Broglie demostró que un fotón de luz también tiene momento, algo que normalmente solo se asocia con partículas con masa y se obtiene multiplicando la masa de la partícula por su velocidad. De Broglie demostró que un fotón de luz tenía un impulso de *h*dividido por su longitud de onda. Sin embargo, dado que estaba tratando con partículas cuya energía y masa podrían verse afectadas por el movimiento a velocidades cercanas a la de la luz, de Broglie incorporó el factor de Lorentz (p.219) en su ecuación. Esto produjo una versión más sofisticada que tuvo en cuenta los efectos de la relatividad.

La idea de De Broglie era radical y atrevida, pero pronto tuvo seguidores influyentes, incluido Einstein. La hipótesis fue también relativamente fácil de probar. En 1927, los científicos de dos laboratorios separados habían realizado experimentos para demostrar que los electrones se difractaban e interferían entre sí exactamente de la misma manera que los fotones de luz. La hipótesis de De Broglie fue probada.



Dos concepciones aparentemente incompatibles pueden representar cada una un aspecto de la verdad.

Luis de Broglie



Importancia creciente

Mientras tanto, varios físicos teóricos estaban lo suficientemente intrigados por la hipótesis de de Broglie como para investigarla más a fondo. En particular, querían saber cómo las propiedades de tales ondas de materia podrían dar lugar al patrón de niveles de energía específicos entre los orbitales electrónicos del átomo de hidrógeno propuesto por el modelo del átomo de Bohr. El mismo De Broglie había sugerido que el patrón surgió porque la circunferencia de cada orbital debe acomodar un número entero de longitudes de onda de la onda de materia. Dado que el nivel de energía del electrón depende de su distancia desde el núcleo cargado positivamente del átomo, esto significaba que—

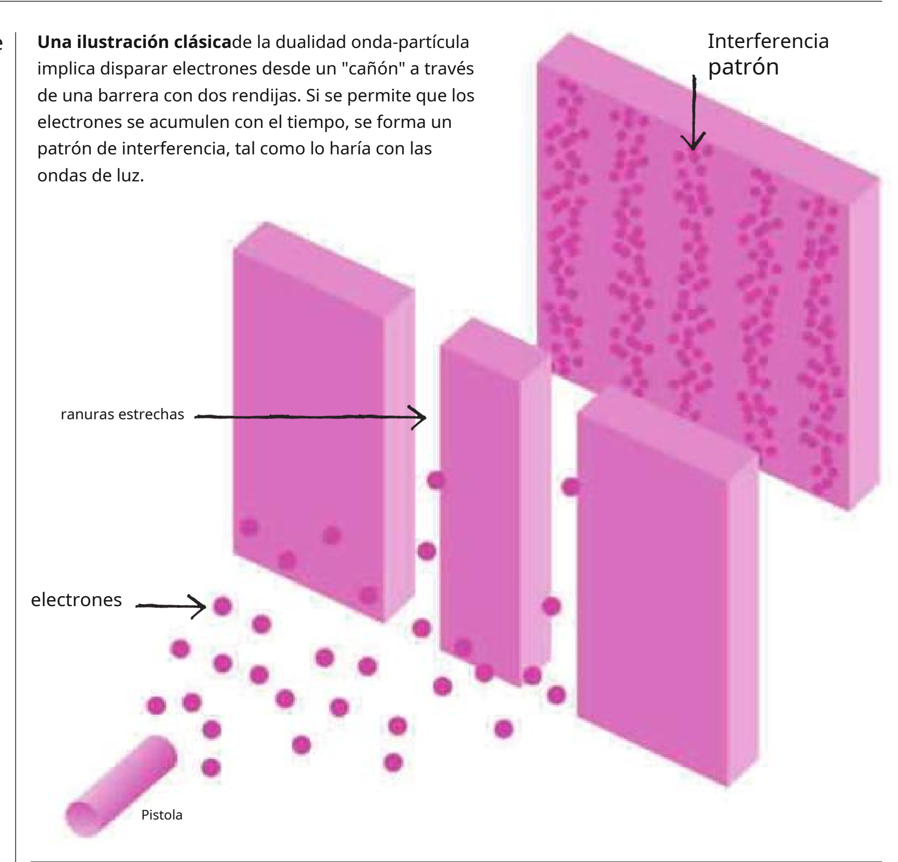
sólo ciertas distancias y ciertos niveles de energía serían estables. Sin embargo, la solución de De Broglie se basó en tratar la onda de materia como una onda unidimensional atrapada en órbita alrededor del núcleo; una descripción completa necesitaría describir la onda en tres dimensiones.

La ecuación de onda

En 1925, tres físicos alemanes, Werner Heisenberg, Max Born y Pascual Jordan, intentaron explicar los saltos cuánticos que ocurrían en el modelo del átomo de Bohr con un método llamado mecánica matricial, en el que las propiedades de un átomo se trataban como una ecuación matemática. sistema que podría cambiar con el tiempo. Sin embargo, el método no podía explicar lo que sucedía realmente dentro del átomo, y su oscuro lenguaje matemático no lo hizo muy popular.

Un año más tarde, un físico austriaco que trabajaba en Zúrich, Erwin Schrödinger, encontró un mejor enfoque. Llevó la dualidad onda-partícula de De Broglie un paso más allá y comenzó a considerar si había una ecuación matemática del movimiento ondulatorio que describiera cómo podría moverse una partícula subatómica. Para formular su ola ecuación, comenzó con las leyes que gobiernan la energía y el momento en la mecánica ordinaria, luego las modificó para incluir la constante de Planck y la ley de De Broglie que relaciona el momento de una partícula con su longitud de onda.

Cuando aplicó la ecuación resultante al átomo de hidrógeno, predijo exactamente los niveles de energía específicos para el átomo que se habían observado en los experimentos. La ecuación fue un éxito. Pero quedaba un problema incómodo, porque nadie, ni siquiera Schrödinger, sabía exactamente qué describía realmente la ecuación de onda. Schrödinger intentó interpretarlo como la densidad de carga eléctrica, pero esto no fue del todo acertado. Fue Max Born quien finalmente sugirió lo que realmente era: una amplitud de probabilidad. En otras palabras, expresaba la probabilidad de que una medida encontrara el electrón en ese lugar en particular. A diferencia de la mecánica matricial, la ecuación de onda de Schrödinger o "función de onda" fue adoptada por los físicos, aunque abrió una amplia gama de preguntas más amplias sobre su interpretación adecuada.



Una ilustración clásicade la dualidad onda-partícula implica disparar electrones desde un "cañón" a través de una barrera con dos rendijas. Si se permite que los electrones se acumulen con el tiempo, se forma un patrón de interferencia, tal como lo haría con las ondas de luz.

Principio de exclusión de Pauli

Otra pieza importante del rompecabezas encajó en 1925 por cortesía de otro austriaco, Wolfgang Pauli. Para describir por qué los electrones dentro de un átomo no caen todos automáticamente directamente en el estado de energía más bajo posible, Pauli desarrolló el principio de exclusión. Razonando que el estado cuántico general de una partícula podría definirse por un cierto número de propiedades, cada una con un número fijo de posibles valores discretos, su principio decía que era imposible que dos partículas dentro del mismo sistema tuvieran el mismo estado cuántico simultáneamente.

Para explicar el patrón de las capas de electrones que era evidente en la tabla periódica, Pauli calculó que los electrones deben describirse mediante cuatro números cuánticos distintos. Tres de estos, los números cuánticos principal, azimutal y magnético, definen el lugar preciso del electrón dentro de las capas y subcapas orbitales disponibles, con los valores de la

último par limitado por el valor del número principal. Se necesitaba el cuarto número, con dos valores posibles, para explicar por qué pueden existir dos electrones en cada subcapa con niveles de energía ligeramente diferentes. Juntos, los números explicaban claramente la existencia de orbitales atómicos que aceptan 2, 6, 10 y 14 electrones respectivamente.

Hoy, el cuarto número cuántico se conoce como espín; es el momento angular intrínseco de una partícula (que se crea por su rotación mientras orbita), y tiene valores positivos o negativos que son números enteros o semienteros. Unos años más tarde, Pauli demostraría que los valores de espín dividen todas las partículas en dos grupos principales: fermiones como los electrones (con espines semienteros), que obedecen un conjunto de reglas conocidas como estadísticas de Fermi-Dirac (págs. 246-47).), y bosones como los fotones (con espín cero o entero), que obedecen a diferentes reglas conocidas como estadísticas de Bose-Einstein. Sólo los fermiones obedecen a la exclusión.

principio, y esto tiene implicaciones importantes para la comprensión de todo, desde el colapso de las estrellas hasta las partículas elementales que componen el universo.

El éxito de Schrödinger

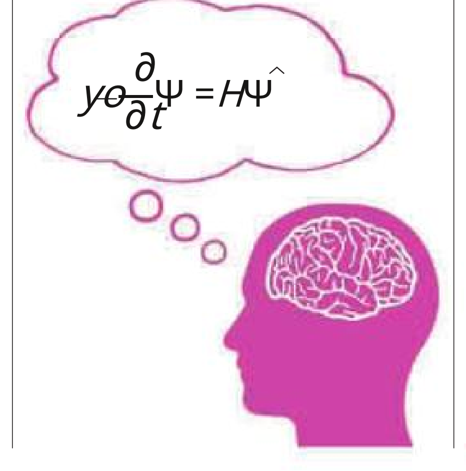
Combinada con el principio de exclusión de Pauli, la ecuación de onda de Schrödinger permitió una comprensión nueva y más profunda de los orbitales, capas y subcapas dentro de un átomo. En lugar de imaginarlos como órbitas clásicas, caminos bien definidos en los que los electrones giran alrededor del núcleo, la ecuación de onda muestra que en realidad son nubes de probabilidad, regiones con forma de rosquilla y de lóbulo en las que se encuentra un electrón particular con ciertos números cuánticos. probable de ser encontrado (p.256).

Otro gran éxito del enfoque de Schrödinger fue que ofreció una explicación para la desintegración alfa radiactiva, en la que una partícula alfa completamente formada (que consta de dos protones y dos neutrones) escapa de un núcleo atómico. Según la física clásica, para permanecer intacto, el núcleo tenía que estar rodeado por un pozo de potencial lo suficientemente empinado para evitar que las partículas escaparan de él. (Un pozo potencial es una región en el espacio donde la energía potencial es más baja que su entorno, lo que significa que atrapa partículas).

Si el pozo no fuera lo suficientemente empinado, el núcleo se desintegraría por completo. Entonces, ¿cómo podrían ocurrir las emisiones intermitentes que se observan en la desintegración alfa mientras se permite que el núcleo restante sobreviva intacto? Las ecuaciones de onda

superaron el problema porque permitieron que la energía de la partícula alfa dentro del núcleo variara. La mayor parte del tiempo, su energía sería lo suficientemente baja como para mantenerlo atrapado, pero ocasionalmente se elevaría lo suficiente como para superar el

ecuación de Schrödinger, en su forma más general, muestra el desarrollo de un sistema cuántico a lo largo del tiempo. Requiere el uso de números complejos.





Erwin Schrodinger

Nacido en Viena, Austria, en 1887, Erwin Schrödinger estudió física en la Universidad de Viena, donde obtuvo un puesto de asistente.

antes de servir en la Primera Guerra Mundial. Después de la guerra, se mudó primero a Alemania y luego a la Universidad de Zúrich, Suiza, donde realizó su trabajo más importante, sumergiéndose en el campo emergente de la física cuántica. En 1927 regresó a Alemania y sucedió a Max Planck en la Universidad Humboldt de Berlín.

Schrödinger era un opositor vocal de los nazis y dejó Alemania para ocupar un puesto en la Universidad de Oxford en 1934. Fue allí donde se enteró de que había sido galardonado con el Premio Nobel de Física de 1933, con Paul Dirac, por la ecuación de onda cuántica. En 1936, estaba de regreso en Austria, pero tuvo que huir nuevamente luego de la anexión del país por parte de Alemania. Se instaló en Irlanda por el resto de su carrera antes de retirarse a Austria en la década de 1950.

Trabajos clave

1920 *Medición de color*
1926 *La cuantización como problema de valores propios*

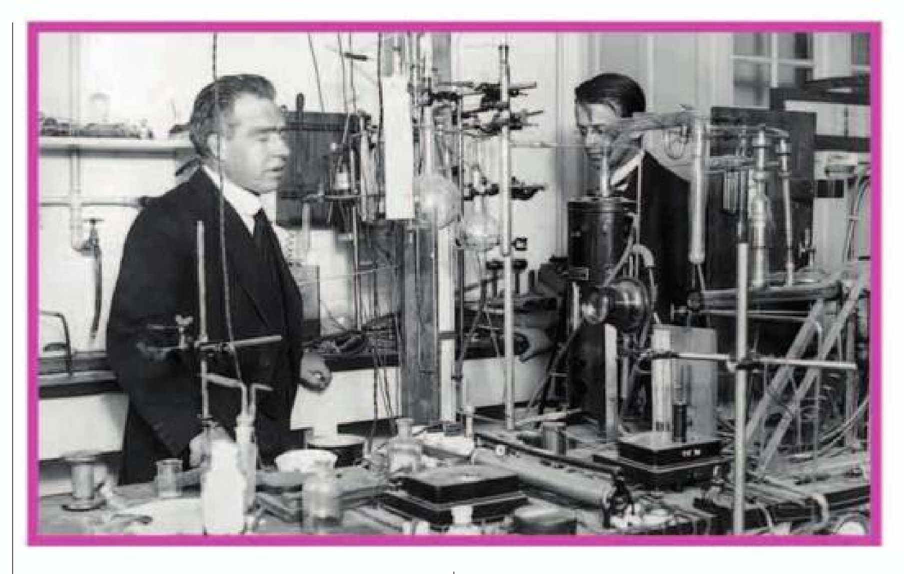
pared y escape (un efecto ahora conocido como tunelización cuántica). Las predicciones de probabilidad de la ecuación de onda coincidían con la naturaleza impredecible de la desintegración radiactiva.

Principio de incertidumbre
El gran debate que dio forma al desarrollo de la física cuántica durante la mitad del siglo XX (y que permanece esencialmente sin resolver en la actualidad) rodeó lo que la función de onda realmente significaba para la realidad. En un eco del debate Planck/ Einstein dos décadas antes, De Broglie vio sus ecuaciones y las de Schrödinger como meras herramientas matemáticas para describir el movimiento: para De Broglie, el electrón seguía siendo esencialmente una partícula, solo una que tenía una propiedad de onda que gobernaba su movimiento. y ubicación Para Schrödinger, sin embargo, la ecuación de onda era mucho más fundamental: describía la forma en que las propiedades del electrón se “difundían” físicamente por el espacio. La oposición al enfoque de Schrödinger inspiró a Werner Heisenberg a desarrollar otra de las grandes ideas del siglo: el principio de incertidumbre (págs. 234-35).



Dios sabe que no soy amigo de la teoría de la probabilidad, la he odiado desde el primer momento cuando nuestro querido amigo Max Born lo dio a luz. **Erwin Schrodinger**





danés niels bohr(izquierda) colaboró con Werner Heisenberg, para formular la interpretación de Copenhague de la función de onda de Schrödinger.

la partícula nunca puede ser "localizada" en un punto en el espacio y al mismo tiempo tener una longitud de onda definida. Por ejemplo, cuanto más precisa era la posición de una partícula, más difícil era medir su impulso. Así, las partículas definidas por una función de onda cuántica existían en un estado general de incertidumbre.

El camino a Copenhague

La medición de las propiedades de un sistema cuántico siempre reveló que la partícula estaba en un lugar, en lugar de en su mancha ondulatoria. En la escala de la física clásica y de la vida cotidiana, la mayoría de las situaciones involucraban mediciones definidas y resultados definidos, en lugar de una miríada de posibilidades superpuestas. El desafío de reconciliar la incertidumbre cuántica con la realidad se llama el problema de la medición y varios enfoques para resolverlo.

se han propuesto, conocidas como interpretaciones.

La más famosa de ellas es la interpretación de Copenhague, ideada por Niels Bohr y Werner Heisenberg en 1927. Esta establece simplemente que es la interacción misma entre el sistema cuántico y un observador externo a gran escala o

aparato (sujeto a las leyes clásicas de la física) que hace que la función de onda "colapse" y surja un resultado definido. Esta interpretación es quizás la más aceptada (aunque no universalmente), y parece ser confirmada por experimentos como la difracción de electrones y el experimento de doble rendija para ondas de luz. Es posible idear un experimento que revele los aspectos ondulatorios de la luz o

electrones, pero imposible registrar las propiedades de los individuos partículas en el mismo aparato.

Sin embargo, mientras que la interpretación de Copenhague parece razonable cuando se trata de sistemas de pequeña escala como las partículas, su implicación de que nada está determinado hasta que se mide preocupó a muchos físicos. Einstein comentó célebremente que “Dios no tira los dados”, mientras que

Schrödinger ideó un experimento mental para ilustrar lo que consideraba una situación ridícula.

El gato de Schrödinger
Llevada a su conclusión lógica, la interpretación de Copenhague resultó en una paradoja aparentemente absurda. Schrödinger imaginó un gato encerrado en una caja que contiene un vial de veneno vinculado a una fuente radiactiva. Si la fuente se descompone y emite una partícula de radiación, un mecanismo soltará un martillo que romperá el vial de veneno. Según la interpretación de Copenhague, la fuente radiactiva permanece en su forma de función de onda (como la llamada superposición de dos resultados posibles) hasta que se observa. Pero si ese es el caso, lo mismo hay que decir del gato.

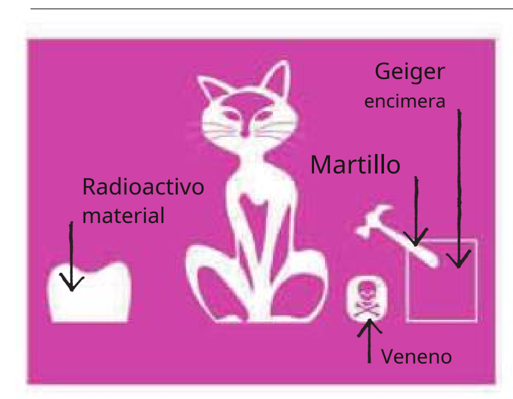
Nuevas interpretaciones
La insatisfacción con aparentes paradojas como la del gato de Schrödinger ha incitado a los científicos a desarrollar varias interpretaciones alternativas de la mecánica cuántica. Una de las más conocidas es la “Interpretación de muchos mundos” presentada en 1956 por el físico estadounidense Hugh Everett III. Esto resolvió la paradoja al sugerir que durante cualquier evento cuántico, el universo se divide en historias alternativas mutuamente inobservables para cada uno de los posibles resultados. En otras palabras, el gato de Schrödinger viviría y moriría.

El enfoque de “Historias consistentes” aborda el problema de una manera bastante menos radical, utilizando matemáticas complejas para generalizar la interpretación de Copenhague. Esto evita los problemas relacionados con el colapso de la función de onda, pero permite que se asignen probabilidades a varios escenarios, o "historias", tanto a escala cuántica como clásica. El enfoque acepta que sólo una de estas historias eventualmente se ajusta a la realidad, pero no permite
predicción de qué resultado será; en cambio, simplemente describe cómo la física cuántica puede dar lugar al universo que vemos sin el colapso de la función de onda.

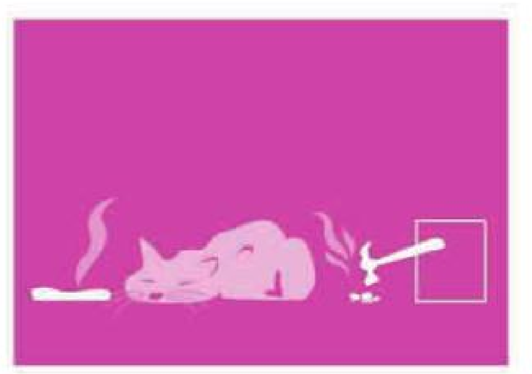
El enfoque de conjunto, o estadístico, es una interpretación matemática minimalista favorecida por Einstein. La teoría de de Broglie-Bohm, que se desarrolló a partir de la reacción inicial de de Broglie a la ecuación de onda, es un intento de una explicación estrictamente causal, en lugar de probabilística, y postula la existencia de un orden oculto "implicado" para el universo. El
El enfoque transaccional involucra ondas que viajan tanto hacia adelante como hacia atrás en el tiempo.

Quizás la posibilidad más intrigante de todas, sin embargo, es la que raya en lo teológico. Trabajando en la década de 1930, el matemático húngaro John von Neumann llegó a la conclusión de que el problema de la medición implicaba que todo el universo está sujeto a una ecuación de onda global conocida como función de onda universal, y que colapsa constantemente a medida que medimos sus diversos aspectos.

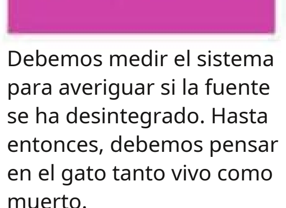
El colega y compatriota de Von Neumann, Eugene Wigner, tomó la teoría y la amplió para sugerir que no fue simplemente la interacción con sistemas a gran escala (como en la interpretación de Copenhague) lo que provocó el colapso de la función de onda, sino la presencia de la propia conciencia inteligente.



Un gato dentro de una caja sellada permanece vivo mientras una fuente radiactiva en la caja no decaiga.

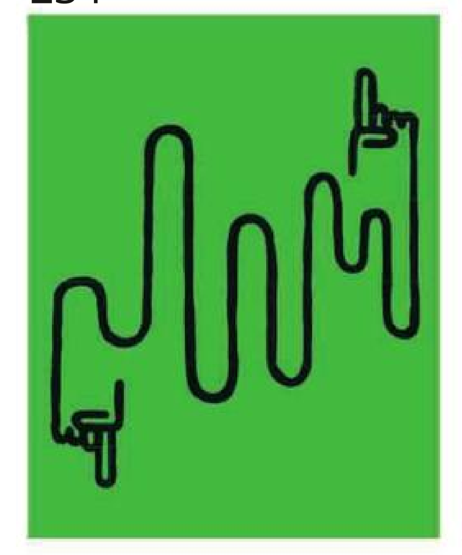


Si la fuente se descompone, libera veneno y el gato muere.



Debemos medir el sistema para averiguar si la fuente se ha desintegrado. Hasta entonces, debemos pensar en el gato tanto vivo como muerto.

El experimento mental de Schrödingerproduce una situación en la que, según una lectura estricta de la interpretación de Copenhague, un gato está vivo y muerto al mismo tiempo.



INCERTIDUMBRE ES INEVITABLE

WERNER HEISENBERG (1901-1976)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1913 Niels Bohr utiliza el concepto de luz cuantificada para explicar los niveles de energía específicos asociados con electrones dentro de los átomos.

1924 Louis de Broglie propone que así como la luz puede exhibir propiedades similares a las de las partículas, en la escala más pequeña, las partículas a veces pueden mostrar un comportamiento ondulatorio.

DESPUÉS
1927 Heisenberg y Bohr propusieron la muy influyente interpretación de Copenhague sobre la forma en que los eventos a nivel cuántico afectan el mundo a gran escala (macroscópico).

1929 Heisenberg y Wolfgang Pauli trabaja en el desarrollo de la teoría cuántica de campos, cuyos cimientos han sido puestos por Paul Dirac.

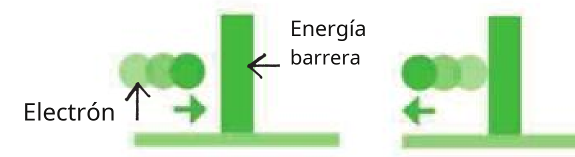
F Siguiendo la sugerencia de Louis de Broglie en 1924 de que en las escalas más pequeñas de la materia, las partículas subatómicas podrían mostrar propiedades ondulatorias (págs. 226-33), varios físicos centraron su atención en la cuestión de comprender cómo las propiedades complejas de un átomo podrían surgir de la interacción de "ondas de materia" asociadas con sus partículas constituyentes.

En 1925, los científicos alemanes Werner Heisenberg, Max Born y Pascual Jordan utilizaron la "mecánica de matrices" para modelar el desarrollo del átomo de hidrógeno a lo largo del tiempo. Este enfoque fue suplantado más tarde por la función de onda de Erwin Schrödinger.

Trabajando con el físico danés Niels Bohr, Heisenberg se basó en el trabajo de Schrödinger para desarrollar la "interpretación de Copenhague" de la forma en que los sistemas cuánticos, gobernados por las leyes de probabilidad, interactúan con el mundo a gran escala. Un elemento clave de esto es el "principio de incertidumbre", que limita la precisión con la que podemos determinar las propiedades en sistemas cuánticos.

El principio de incertidumbre surgió como una consecuencia matemática de la mecánica matricial. Heisenberg se dio cuenta de que su método matemático no permitiría determinar ciertos pares de propiedades simultáneamente con valores absolutos.

cuadro clasico



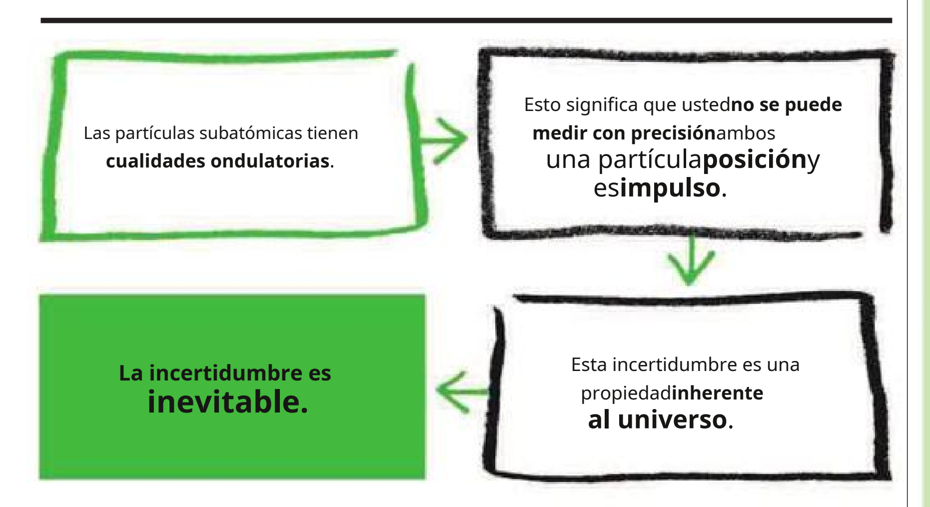
sintonización cuántica
se explica por
El principio de Heisenberg. hay un distinto de cero probabilidad de que un electrón pueda pasar una barrera incluso si parece tener muy poca energía para hacerlo.

Imagen cuántica





Ver también: Albert Einstein 214–21 · Erwin Schrodinger 226-33 · Paul Dirac 246–47 · Ricardo Feynman 272–73 Hugo Everett III 284–85



precisión. Por ejemplo, cuanto más exactamente se mide la posición de una partícula, menos exactamente se puede determinar su momento, y viceversa. Heisenberg encontró que para estas dos propiedades en particular, la relación podría escribirse como:

X pag≥*h*—/2

dónde *X*es la incertidumbre de posición, *pag*la incertidumbre del impulso, y*h*es una versión modificada de la constante de Planck (p.202).

Un universo incierto

El principio de incertidumbre a menudo se describe como una consecuencia de las mediciones a escala cuántica; por ejemplo, a veces se dice que determinar la posición de una partícula subatómica implica la aplicación de algún tipo de fuerza que significa que su energía cinética y su momento están menos definidos. Esta explicación, presentada al principio por el propio Heisenberg, llevó a varios científicos, incluido Einstein, a dedicar tiempo a idear experimentos mentales que pudieran obtener una medición simultánea y precisa de la posición y el impulso mediante algún tipo de "truco". Sin embargo, la verdad es mucho más extraño: resulta que la incertidumbre es una característica inherente de los sistemas cuánticos.

Una forma útil de pensar sobre el tema es considerar las ondas de materia asociadas con las partículas: en esta situación, el momento de la partícula afecta su energía general y, por lo tanto, su longitud de onda, pero cuanto más precisamos la posición de la partícula, menos información tenemos. tienen sobre su función de onda, y por lo tanto sobre su longitud de onda. Por el contrario, medir con precisión la

La longitud de onda requiere que consideremos una región más amplia del espacio y, por lo tanto, sacrifica información sobre la ubicación precisa de la partícula.

ubicación. Tales ideas pueden parecer extrañamente contrarias a las que experimentamos en el mundo a gran escala, pero, sin embargo, muchos experimentos han demostrado que son reales y forman una base importante de la física moderna. El principio de incertidumbre explica fenómenos aparentemente extraños de la vida real, como el túnel cuántico, en el que una partícula puede atravesar una barrera incluso si su energía sugiere que no debería poder hacerlo.



Werner Heisenberg

Nacido en la ciudad de Würzburg, en el sur de Alemania, en 1901, Werner Heisenberg estudió matemáticas y física en las universidades de Múnich y Göttingen, donde estudió con Max Born y conoció por primera vez a su futuro colaborador Niels Bohr.

Es más conocido por su trabajo sobre la interpretación de Copenhague y la principio de incertidumbre, pero Heisenberg también hizo importantes contribuciones a la teoría cuántica de campos y desarrolló su propia teoría de la antimateria. Galardonado con el Premio Nobel de Física en 1932, se convirtió en uno de sus ganadores más jóvenes, y su estatura le permitió hablar en contra de los nazis después de que tomaron el poder el año siguiente. Sin embargo, optó por quedarse en Alemania y dirigió el programa de energía nuclear del país durante Segunda Guerra Mundial.

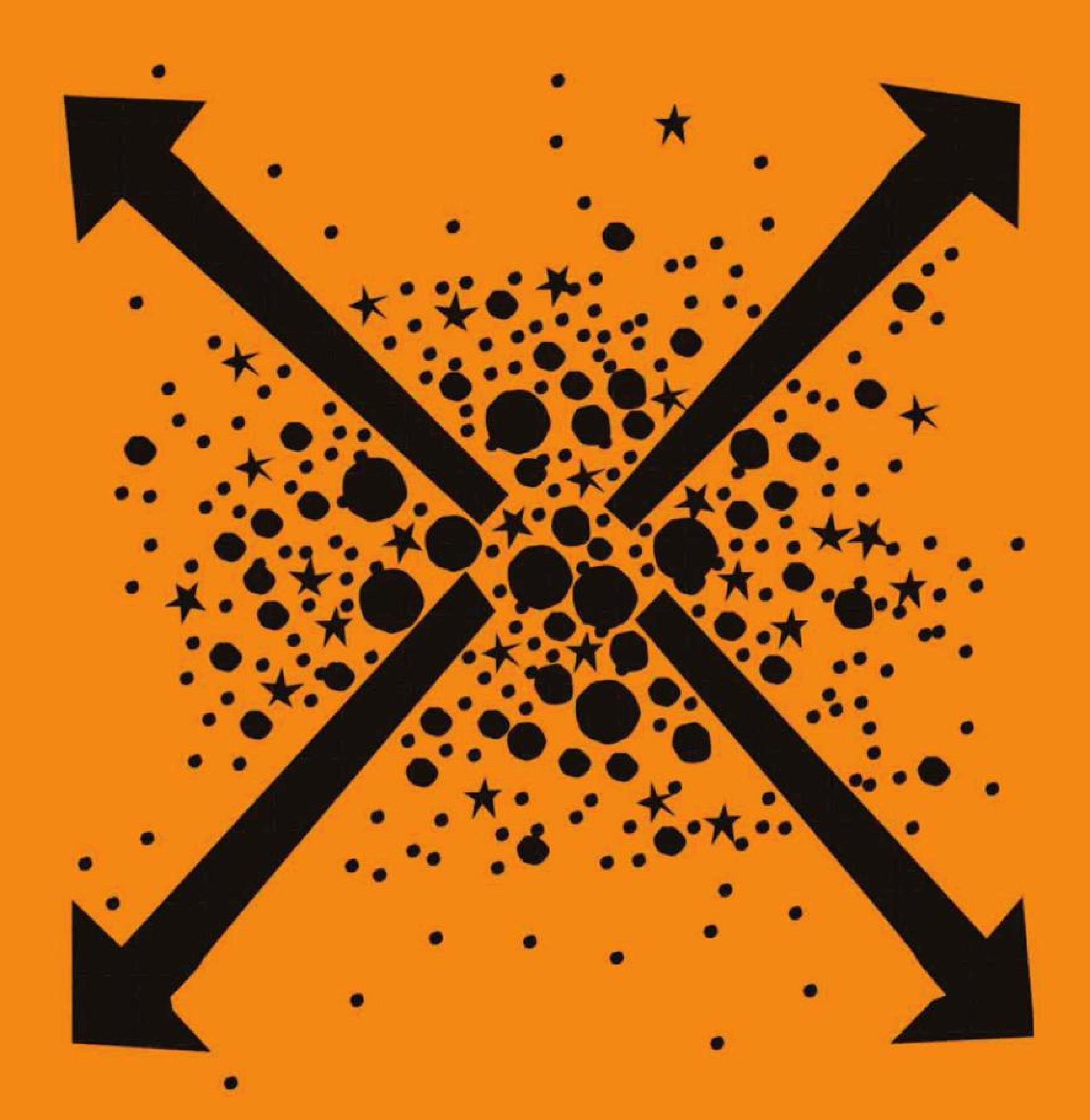
Trabajos clave

1927 *Reinterpretación teórica cuántica de las relaciones cinemáticas y mecánicas* **1930** *Los principios físicos de la teoría cuántica* **1958** *Física y Filosofía*

EL UNIVERSO ES GRANDE...

Y OBTENER MÁS GRANDE

EDWIN HUBBLE (1889–1953)



EN CONTEXTO

RAMA
Cosmología

ANTES
1543 Nicolás Copérnico concluye que la Tierra no es el centro del universo.

siglo 17 La vista cambiante de las estrellas que ofrece la órbita de la Tierra alrededor del Sol da lugar al método de paralaje para medir distancias estelares.

Siglo 19 Las mejoras en los telescopios allanan el camino para el estudio de la luz de las estrellas y el surgimiento de la astrofísica.

DESPUÉS
1927 Georges Lemaître propone que el universo se remonta a un único punto de origen.

1990 Los astrónomos descubren que la expansión del universo se está acelerando, impulsada por una fuerza conocida como energía oscura.

B a principios del siglo XX, las ideas sobre la escala del universo se dividieron a los astrónomos en dos escuelas de pensamiento: los que creían que la galaxia de la Vía Láctea era, en términos generales, toda su extensión, y los que pensaban que la Vía Láctea podría ser solo una galaxia entre innumerables otras. Edwin Hubble iba a resolver el rompecabezas y mostrar que el universo es mucho más grande de lo que nadie imaginaba.

La clave del debate fue la naturaleza de las "nebulosas espirales". Hoy en día, una nebulosa es el término que se usa para una nube interestelar de polvo y gas, pero en el momento de este debate, era el nombre que se usaba para cualquier nube amorfa de luz, incluidos objetos que luego se descubrió que eran galaxias más allá de la Vía Láctea.



Hay una relación simple entre el brillo de la variables y sus periodos.
Enriqueta Leavitt



A medida que los telescopios mejoraron dramáticamente durante el siglo XIX, algunos de los objetos catalogados como nebulosas comenzaron a revelar características espirales distintivas. Al mismo tiempo, el desarrollo de la espectroscopia (el estudio de la interacción entre la materia y la energía radiada) sugirió que estas espirales estaban formadas de hecho por innumerables estrellas individuales que se mezclaban a la perfección.

La distribución de estas nebulosas también fue interesante, a diferencia de otros objetos que se agruparon en el plano de la Vía Láctea, eran más comunes en los cielos oscuros lejos del plano. Como resultado, algunos astrónomos adoptaron una idea del filósofo alemán Immanuel Kant, quien en 1755 sugirió que las nebulosas eran "universos insulares", sistemas similares a la Vía Láctea pero mucho más distantes, y solo visibles donde la distribución del material en nuestra galaxia. permite vistas claras de lo que ahora llamamos espacio intergaláctico. Los que seguían creyendo que el universo estaba lejos

edwin hubble



Nacido en Marshfield, Missouri, en 1889, Edwin Powell Hubble tenía una naturaleza ferozmente competitiva que se manifestó en su juventud como un atleta dotado. A pesar de su interés por la astronomía, siguió los deseos de su padre y estudió derecho, pero a los 25 años, tras la muerte de su padre, resolvió seguir su temprana pasión. Sus estudios fueron interrumpidos por el servicio en la Primera Guerra Mundial, pero después de su regreso a los Estados Unidos comenzó a trabajar en el Observatorio Mount Wilson. Allí realizó su obra más importante, publicando su estudio sobre "nebulosas extragalácticas" en 1924-25, y su prueba de expansión cósmica en 1929. En años posteriores, hizo campaña para astronomía para ser reconocido por el Comité del Premio Nobel. Las reglas solo se cambiaron después de su muerte en 1953, por lo que nunca recibió el premio.

Trabajos clave

1925*Variables cefeidas en nebulosas espirales*
1929*Una relación entre la distancia y la velocidad radial entre las nebulosas extragalácticas*

Ver también: Nicolás Copérnico 34–39 Doppler cristiano 127 Georges Lemaître 242-45



Henrietta Leavitt recibiópoco reconocimiento en su vida, pero sus descubrimientos relacionados con las estrellas variables Cefeidas fueron la clave que permitió astrónomos para medir la distancia de la Tierra a galaxias lejanas.



más limitados en extensión argumentaron que las espirales podrían ser soles o sistemas solares en proceso de formación, en órbita alrededor de la Vía Láctea.

Estrellas con pulso

Las respuestas a este enigma de larga data llegaron en varias etapas, pero quizás la más importante fue el establecimiento de un medio preciso para medir la distancia a las estrellas. El avance se produjo con el trabajo de Henrietta Swan Leavitt, miembro del equipo de astrónomas de la Universidad de Harvard que analizaba las propiedades de la luz de las estrellas.

Leavitt estaba intrigado por el comportamiento de las estrellas variables. Estas eran estrellas cuyo brillo parecía fluctuar, o pulsar, porque periódicamente expandido y contraído a medida que se acercaban al final de sus vidas. Comenzó a estudiar placas fotográficas de las Nubes de Magallanes, dos pequeños parches de luz visibles desde el cielo del sur que parecen "grupos" aislados de la Vía Láctea. Cada

Descubrió que las nubes contenían un gran número de estrellas variables y, al compararlas en muchas placas diferentes, no solo vio que su luz variaba en un ciclo regular, sino que también pudo calcular el período del ciclo.

Al concentrarse en estas nubes de estrellas pequeñas, tenues y aisladas, Leavitt podía asumir con seguridad que las estrellas dentro de ellas estaban todas más o menos a la misma distancia de la Tierra. Aunque no podía saber la distancia en sí, esto era suficiente para suponer que las diferencias en la "magnitud aparente" (brillo observado) de las estrellas

eran una indicación de las diferencias en su "magnitud absoluta" (brillo real). Al publicar sus primeros resultados en 1908, Leavitt señaló de pasada que algunas estrellas parecían mostrar una relación entre su período de variabilidad y su magnitud absoluta, pero le tomó otros cuatro años descubrir cuál era esta relación. Resultó que, para cierto tipo de estrella variable conocida como variable Cefeida, las estrellas con mayor luminosidad tienen períodos de variabilidad más largos.

La ley de "período-luminosidad" de Leavitt sería la clave para desbloquear la escala de la



estamos llegando
en el espacio, más y más
lejos, hasta que, con la
nebulosa más tenue que se
puede detectar... llegamos
en la frontera de la
universo conocido.
edwin hubble



universo: si pudiera calcular la magnitud absoluta de la estrella a partir de su período de variabilidad, entonces la distancia de la estrella a la Tierra podría calcularse a partir de su magnitud aparente. El primer paso para resolver esto fue calibrar la escala, lo que hizo en 1913 el astrónomo sueco Ejnar Hertzsprung. Calculó las distancias a 13 Cefeidas relativamente cercanas usando el método de paralaje (p.39). Las cefeidas eran inmensamente brillantes, miles de veces más luminosas que nuestro Sol (en terminología moderna, son "supergigantes amarillas"). En teoría, entonces, eran una "vela estándar" ideal: estrellas cuyo brillo podría usarse para medir enormes distancias cósmicas. Pero a pesar de los mejores esfuerzos de los astrónomos, las Cefeidas dentro de las nebulosas espirales

permaneció obstinadamente esquivo.

el gran debate

En 1920, el Museo Smithsonian en Washington DC organizó un debate entre las dos escuelas cosmológicas rivales, con la esperanza de resolver la cuestión de la escala de el universo de una vez por todas. El respetado astrónomo de Princeton, Harlow Shapley, habló del lado del “pequeño universo”. Había sido el primero en utilizar el trabajo de Leavitt en Cefeidas para medir la distancia a los cúmulos globulares (cúmulos estelares densos en órbita alrededor de la Vía Láctea), y descubrió que normalmente se encontraban a varios miles de años luz de distancia. En 1918, utilizó estrellas RR Lyrae (estrellas más débiles que se comportan como cefeidas) para estimar el tamaño de la Vía Láctea y demostrar que el Sol estaba en ninguna parte cerca de su centro. Sus argumentos apelaron al escepticismo público hacia las nociones de un universo enorme con muchas galaxias, pero también citaron evidencia específica (que luego se demostró inexacta), como informes de que durante muchos años algunos astrónomos habían observado la rotación de las nebulosas espirales. Para que esto sea cierto sin partes de la nebulosa que excedan la velocidad de la luz, deben ser relativamente pequeñas.

Los partidarios del “universo isla” estuvieron representados por Heber D. Curtis del Observatorio Allegheny de la Universidad de Pittsburgh. Basó sus argumentos en comparaciones entre las tasas de explosiones de "novas" brillantes en espirales distantes y en nuestra propia Vía Láctea. Las novas son explosiones de estrellas muy brillantes que pueden servir como indicadores de distancia.

Curtis también citó la evidencia de otro factor crucial: el alto corrimiento al rojo exhibido por muchas nebulosas espirales. Este fenómeno había sido descubierto por Vesto Slipher del Observatorio Flagstaff, Arizona, en 1912, evidente a través de cambios distintivos en el patrón de las líneas espectrales de una nebulosa hacia el extremo rojo del espectro. Slipher, Curtis y muchos otros creían que eran causados por el

al medirla luz de las estrellas variables cefeidas en la nebulosa de Andrómeda, Hubble estableció que Andrómeda estaba a 2,5 millones de años luz y era una galaxia por derecho propio.



efecto Doppler (un cambio en la longitud de onda de la luz debido al movimiento relativo entre la fuente y el observador) y, por lo tanto, indicaba que las nebulosas se alejaban de nosotros a velocidades muy altas, demasiado rápido para que la gravedad de la Vía Láctea las mantuviera.

Midiendo el universo

Entre 1922 y 1923, Edwin Hubble y Milton Humason del Observatorio Monte Wilson de California estaban en condiciones de acabar con el misterio de una vez por todas. Usando el nuevo Telescopio Hooker de 100 pulgadas (2,5 m) del observatorio (el más grande del mundo en ese momento), se dispusieron a identificar las variables Cefeidas que brillaban dentro de las nebulosas espirales, y esto

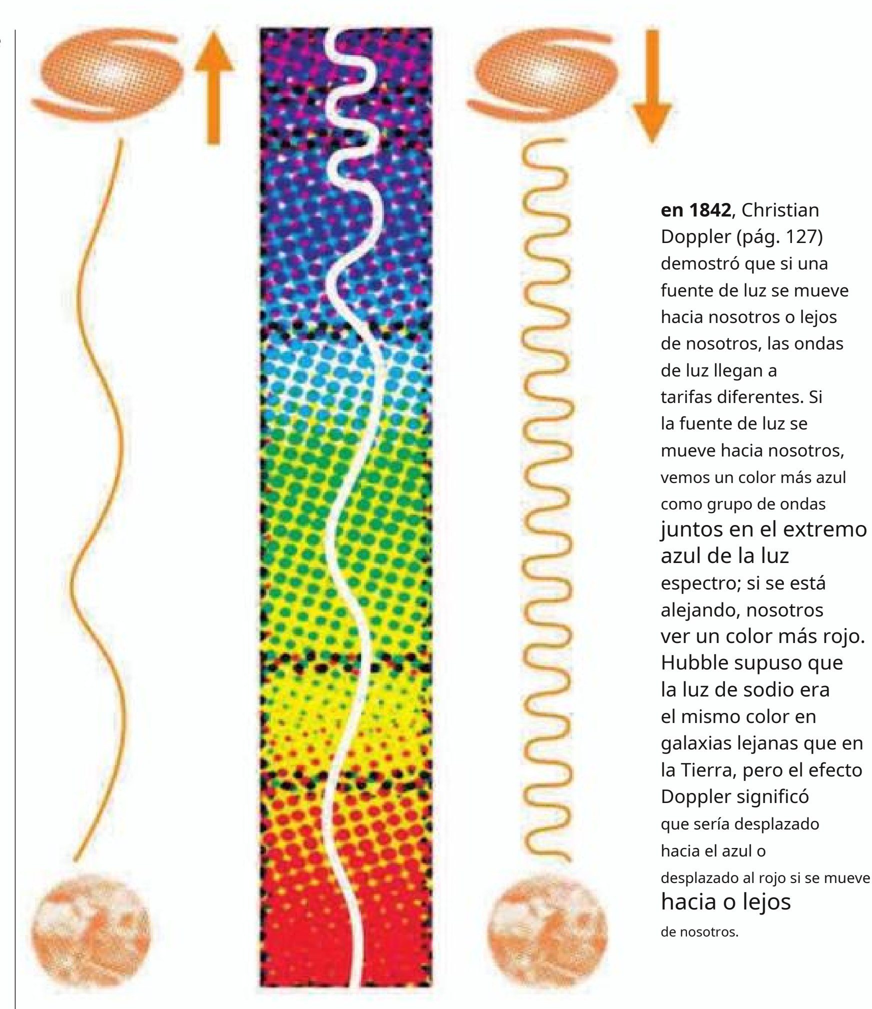
vez lograron encontrar cefeidas en muchas de las nebulosas más grandes y brillantes.

Hubble luego trazó sus períodos de variabilidad y, por lo tanto, su magnitud absoluta. A partir de esto, una simple comparación con la magnitud aparente de una estrella reveló su distancia, produciendo cifras que típicamente eran de millones de años luz. Esto demostró de manera concluyente que las nebulosas espirales eran realmente enormes sistemas estelares independientes, mucho más allá de la Vía Láctea y que rivalizaban con ella en tamaño. Las nebulosas espirales son ahora

correctamente llamadas galaxias espirales. Como si esta revolución en la forma en que vemos el universo no fuera suficiente, Hubble pasó a observar cómo las distancias de las galaxias se relacionan con los desplazamientos al rojo ya descubiertos por Slipher, y aquí encontró una relación notable. Al trazar las distancias de más de 40 galaxias frente a sus desplazamientos hacia el rojo, mostró un patrón más o menos lineal: cuanto más lejos está una galaxia, en promedio, mayor es su desplazamiento hacia el rojo y, por lo tanto, más rápido se aleja de la Tierra. Hubble se dio cuenta de inmediato de que esto no podía deberse a que nuestra galaxia es excepcionalmente impopular, sino que debe ser

el resultado de una expansión cósmica general; en otras palabras, el espacio mismo se está expandiendo y arrastrando consigo todas las galaxias. Cuanto mayor sea la separación entre dos galaxias, más rápido se expandirá el espacio entre ellas. La tasa de expansión del espacio pronto se conoció como la "Constante de Hubble". Fue medido de manera concluyente en 2001 por el telescopio espacial que lleva el nombre de Hubble.

Mucho antes de eso, el descubrimiento de Hubble del universo en expansión había dado lugar a una de las ideas más famosas de la historia de la ciencia: la teoría del Big Bang (págs. 242–45).



en 1842, Christian Doppler (pág. 127) demostró que si una fuente de luz se mueve hacia nosotros o lejos de nosotros, las ondas de luz llegan a tarifas diferentes. Si la fuente de luz se mueve hacia nosotros, vemos un color más azul como grupo de ondas juntos en el extremo azul de la luz espectro; si se está alejando, nosotros ver un color más rojo. Hubble supuso que la luz de sodio era el mismo color en galaxias lejanas que en la Tierra, pero el efecto Doppler significó que sería desplazado hacia el azul o desplazado al rojo si se mueve hacia o lejos de nosotros.



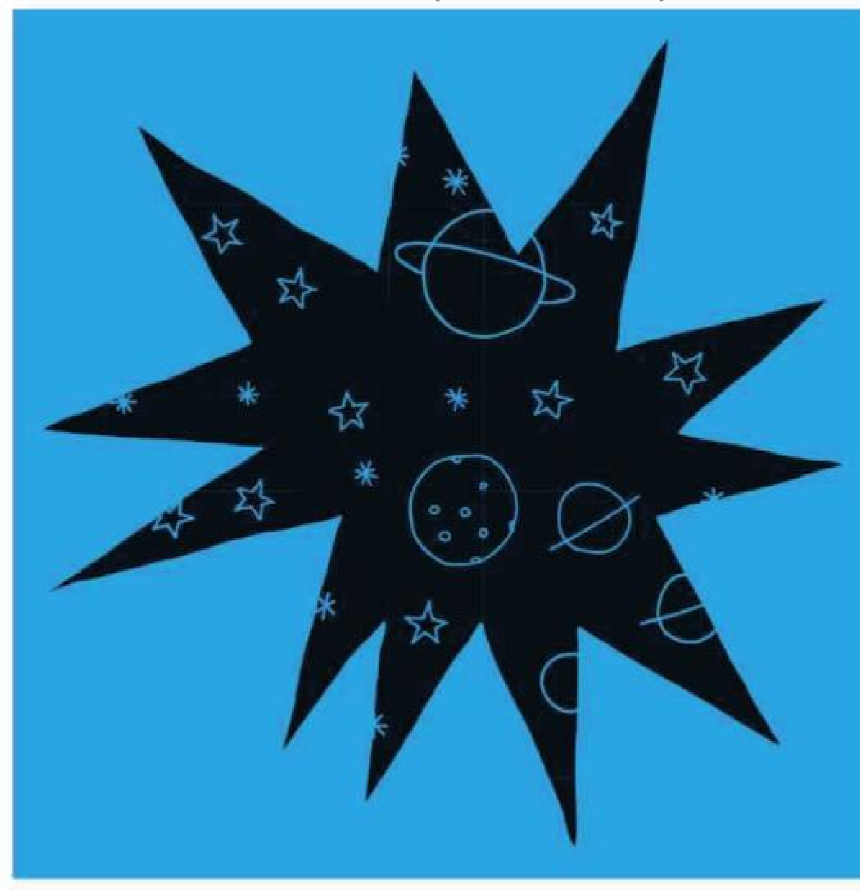
Equipado con sus cinco sentidos, el hombre explora el universo que lo rodea y llama la ciencia de la aventura.

edwin hubble



EL RADIO DEL ESPACIO COMENZÓ EN CERO

GEORGES LEMAÎTRE (1894–1966)



EN CONTEXTO

RAMA
Astronomía

ANTES
1912astrónomo estadounidense Vesto Slipher descubre los altos desplazamientos al rojo de las nebulosas espirales, lo que sugiere que se están alejando de la Tierra a altas velocidades.

1923 Edwin Hubble confirma que las nebulosas espirales son galaxias distantes e independientes.

DESPUÉS
1980 El físico estadounidense Alan Guth propone un breve período de inflación dramática en el universo primitivo para producir el condiciones que vemos hoy.

1992 El satélite COBE (Cosmic Background Explorer) detecta pequeñas ondas en la radiación de fondo cósmico de microondas (CMBR), indicios de la primera estructura que surgió en el universo primitivo.

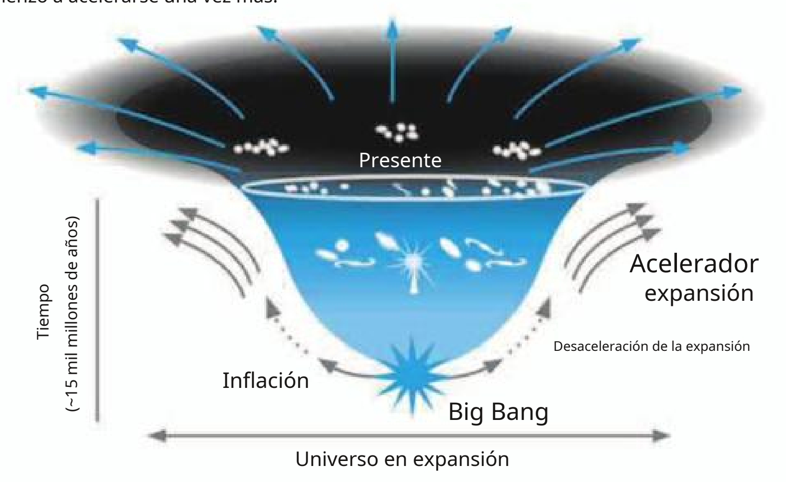
Ta idea de que el universo comenzó con un Big Bang, expandiéndose desde un pequeño, superdenso, y un punto extremadamente caliente en el espacio, es la base de la cosmología moderna, y se dice a menudo que se originó con el descubrimiento de la expansión cósmica de Edwin Hubble en 1929. Pero los precursores de la teoría son anteriores al avance del Hubble por varios años, y surgieron por primera vez de

interpretaciones de la teoría de la relatividad general de Albert Einstein aplicada al universo como un todo.

Al formular su teoría, Einstein se basó en la evidencia disponible de la época para suponer que el universo era estático:

Ver también: Isaac Newton 62–69 ■ Albert Einstein 214–21 ■ Edwin Hubble 236–41 ■ fred hoyle 270

Desde el Big Bang Hace 13.800 millones de años, la expansión del universo ha pasado por diferentes fases. Hubo un período inicial de rápida expansión conocido como inflación. Después de eso, la expansión se desaceleró y luego comenzó a acelerarse una vez más.



ni expandirse ni contraerse. La relatividad general indicó que el universo debería colapsar por su propia gravedad, por lo que Einstein modificó sus propias ecuaciones al agregar un término conocido como constante cosmológica. La constante de Einstein contrarrestó matemáticamente la contracción gravitatoria para producir el supuesto universo estático.



Las primeras etapas de la expansión consistieron en una rápida expansión determinada por la masa del átomo inicial, casi igual al presente masa del universo.
Georges Lemaître

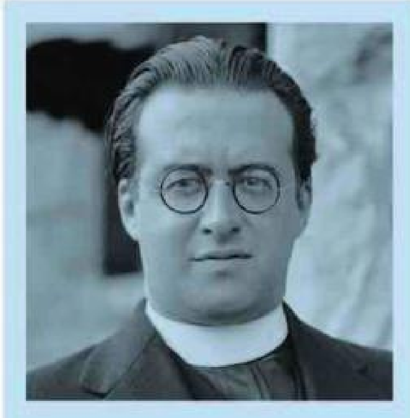


Famosamente, Einstein más tarde llamó a la constante su mayor error, pero incluso en el momento en que la propuso hubo algunos que la encontraron insatisfactoria. El físico holandés Willem de Sitter y el matemático ruso Alexander Friedmann sugirió de forma independiente una solución a la relatividad general en la que el universo se expandía y, en 1927, el astrónomo y sacerdote belga Georges Lemaître llegó a la misma conclusión, dos años antes de la prueba observacional de Hubble.

Comenzando en el fuego

En un discurso ante la Asociación Británica en 1931, Lemaître llevó la idea de la expansión cósmica a su conclusión lógica, sugiriendo que el universo había surgido de un solo punto al que llamó el "átomo primigenio". La respuesta a esta idea radical fue mixta.

El establecimiento astronómico de la época estaba apegado a la idea de un universo eterno.



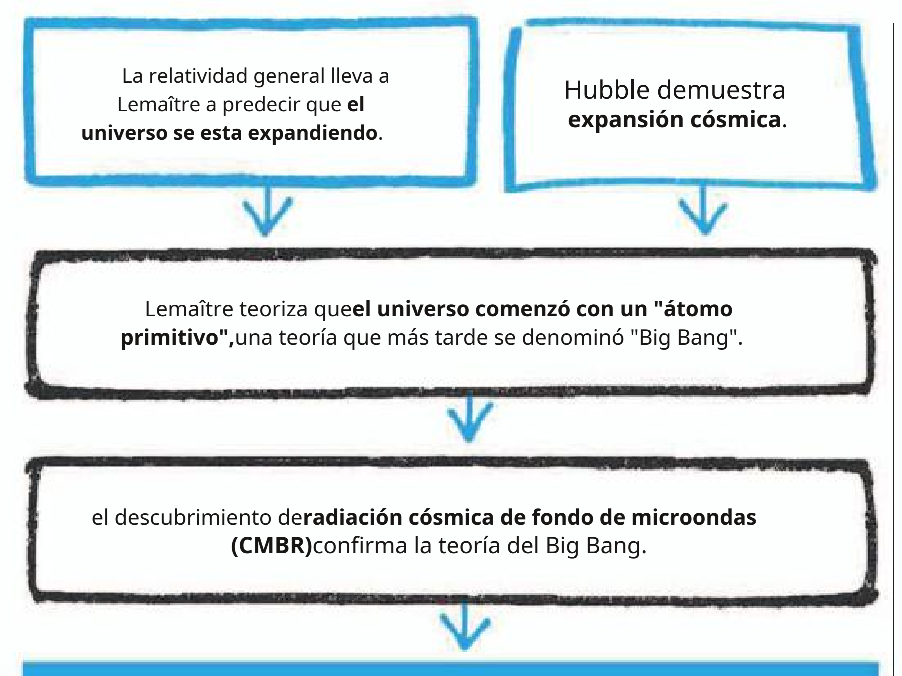
Georges Lemaître

Nacido en Charleroi, Bélgica, en 1894, Lemaître estudió ingeniería civil en la Universidad Católica de Lovaina y sirvió en la Primera Guerra Mundial antes de regresar a la academia, donde estudió física y las matemáticas como la teología. A partir de 1923, estudió astronomía en Gran Bretaña y Estados Unidos. A su regreso a Lovaina en 1925 como profesor, Lemaître comenzó a desarrollar su teoría de un universo en expansión como explicación de los desplazamientos hacia el rojo de las nebulosas extragalácticas.

Publicadas por primera vez en 1927, en una revista belga poco leída, las ideas de Lemaître despegaron después de que publicó una traducción al inglés con Arthur Eddington. Vivió hasta 1966, lo suficiente para ver pruebas de que sus ideas eran correctas con el descubrimiento de la radiación de fondo cósmico de microondas (CMBR).

Trabajos clave

1927 *Un universo homogéneo de masa constante y Radio creciente que explica la velocidad radial de las nebulosas extragalácticas*
1931 *La Evolución del Universo: Discusión*



sin final ni principio, y la perspectiva de un punto de origen distinto (especialmente cuando lo proponía un sacerdote católico) se consideraba como introduciendo un elemento religioso innecesario en la cosmología.

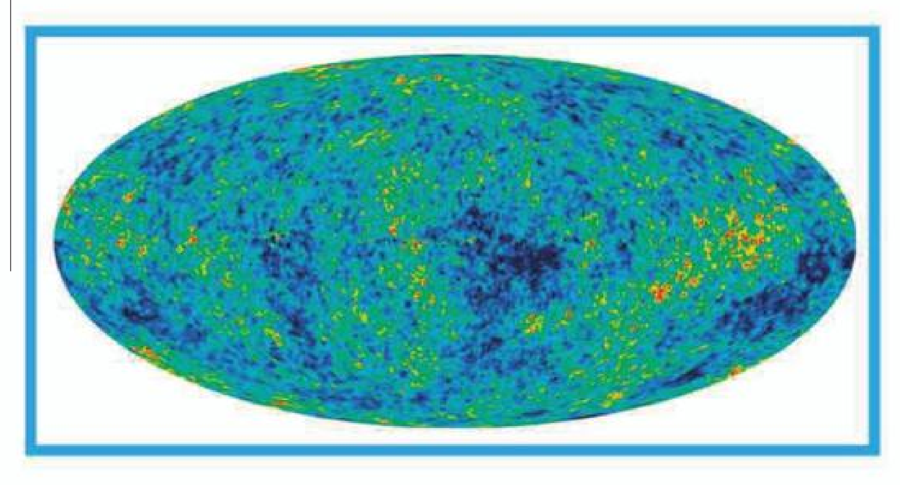
Sin embargo, las observaciones de Hubble eran innegables y se necesitaba algún tipo de modelo para explicar la expansión del universo. Se propusieron numerosas teorías en la década de 1930, pero a fines de la década de 1940, solo dos seguían en juego: el átomo primitivo de Lemaître y el modelo rival de "estado estacionario", en el que la materia se creaba continuamente a medida que el universo se expandía. El astrónomo británico Fred Hoyle fue el campeón de la idea del estado estacionario.

En 1949, Hoyle se refirió con desprecio a la teoría rival como un "Big Bang". El nombre se quedó.

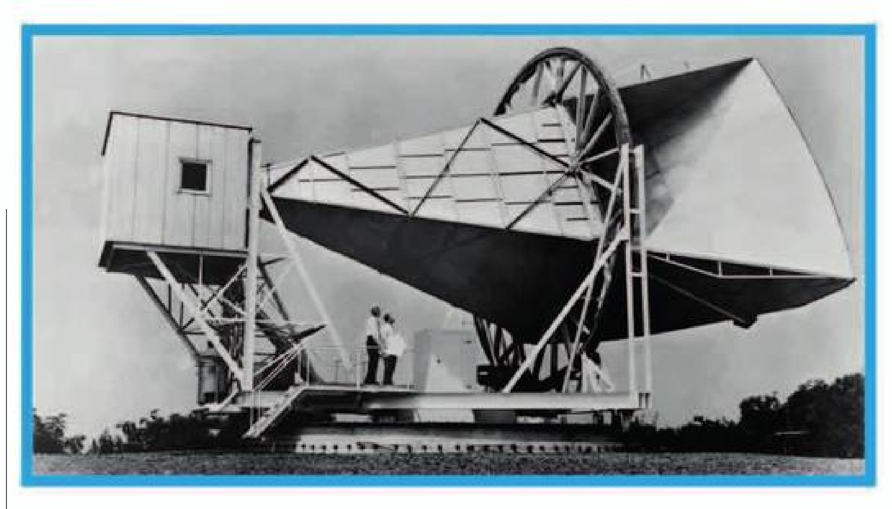
haciendo los elementos

En el momento en que Hoyle, sin darse cuenta, había nombrado la teoría, una prueba persuasiva a favor de La hipótesis de Lemaître había sido publicada, inclinando la balanza lejos de un universo de estado estacionario. Este fue un artículo de 1948 escrito por Ralph Alpher y George Gamow de la Universidad Johns Hopkins en los Estados Unidos. Fue llamado*El origen de los elementos químicos*, y describió en detalle cómo se podrían haber producido partículas subatómicas y elementos químicos livianos a partir de la energía bruta del Big Bang, de acuerdo con la ecuacion de einstein$mi=mc_2$. Pero esta teoría, más tarde conocida como nucleosíntesis del Big Bang, explicaba un proceso que podía formar solo los cuatro elementos más ligeros: hidrógeno, helio, litio y berilio. Sólo más tarde se descubrió que los elementos más pesados del universo son el producto de la nucleosíntesis estelar (un proceso que tiene lugar dentro de las estrellas). Irónicamente, la evidencia que muestra cómo funcionaba la nucleosíntesis estelar fue desarrollada por Fred Hoyle.

Sin embargo, todavía no había evidencia observacional directa para determinar la verdad del Big Bang o de un universo en estado estacionario. Los primeros intentos de probar las teorías se realizaron en la década de 1950 utilizando un radiotelescopio básico conocido como Cambridge. Interferómetro. Estas pruebas se basaban en un principio simple: si la teoría del estado estacionario era cierta, entonces la



Pequeñas variacionesse han encontrado en la radiación de fondo de microondas cósmica; los diferentes colores en esta imagen muestran diferencias de temperatura de menos de 400 millonésimas de Kelvin.



Arno Penzias y Robert Wilson detectó la radiación de fondo por accidente. Al principio, pensaron que la interferencia había sido causada por excrementos de pájaros en su antena de radio.

el universo debe ser esencialmente uniforme tanto en el tiempo como en el espacio; pero si se originó hace 10-20 mil millones de años, como sugería la teoría del Big Bang, y evolucionó a lo largo de su historia, entonces los lugares distantes del universo, cuya radiación tardó miles de millones de años en llegar a la Tierra, deberían parecer sustancialmente diferentes. (Este tiempo cósmico
El efecto de máquina, mediante el cual vemos objetos celestes más distantes tal como eran en el pasado lejano, se conoce como "tiempo de mirada retrospectiva".) Al medir el número de galaxias distantes que emiten radiación por encima de un cierto brillo, debería ser posible distinguir entre los dos escenarios.

El primero de los experimentos de Cambridge arrojó un resultado que parecía respaldar el Big Bang. Sin embargo, se descubrieron problemas con los detectores de radio, por lo que los resultados tuvieron que descartarse.
Los resultados posteriores resultaron más equívocos.

Huellas del Big Bang

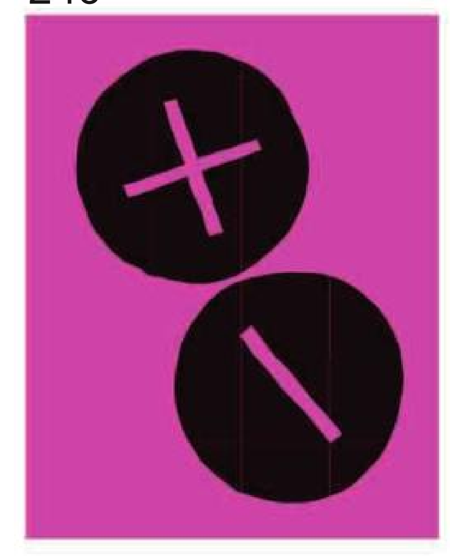
Afortunadamente, la cuestión pronto se resolvió por otros medios. Ya en 1948, Alpher y su colega Robert Herman habían predicho que el Big Bang habría dejado un efecto de calentamiento residual en todo el universo. Según la teoría, cuando el universo tenía unos 380.000 años, se había enfriado lo suficiente como para volverse transparente, lo que permitió que los fotones de luz viajaran libremente por el espacio por primera vez. Los fotones que existían en ese momento se habían estado propagando a través del espacio desde entonces, haciéndose más largos y más rojos a medida que el espacio avanzaba.

expandido. En 1964, Robert Dicke y sus colegas de la Universidad de Princeton se propusieron construir un radiotelescopio que pudiera detectar esta débil señal, que pensaron que tomaría la forma de ondas de radio de baja energía. Sin embargo, estaban
finalmente vencido en el premio por Arno Penzias y Robert Wilson, dos ingenieros que trabajan en los laboratorios Bell Telephone cercanos. Penzias y Wilson habían construido un radiotelescopio para la comunicación por satélite, pero se vieron afectados por una señal de fondo no deseada que no pudieron eliminar. Procedente de todo el cielo, correspondía a la emisión de microondas de un cuerpo a una temperatura de 3,5 K, solo 6 °F (3,5 °C) por encima del cero absoluto. Cuando Bell Labs se puso en contacto con Dicke para pedir ayuda con su problema, Dicke se dio cuenta de que habían encontrado los restos del Big Bang, ahora conocido como radiación cósmica de fondo de microondas (CMBR).

El descubrimiento de que el CMBR impregna el universo, un fenómeno para el cual la teoría del estado estacionario no tenía explicación, decidió el caso a favor del Big Bang. Las mediciones posteriores han demostrado que la temperatura promedio real de la CMBR es de aproximadamente 2,73 K, y las mediciones satelitales de alta precisión han revelado variaciones diminutas en la señal que nos permiten estudiar las condiciones en el universo hasta 380.000 años después del Big Bang.

Desarrollos posteriores

A pesar de que se demostró que era correcta en principio, la teoría del Big Bang ha sufrido muchas transformaciones desde la década de 1960 para adaptarla a nuestra creciente comprensión del universo. Entre los más significativos se encuentran la introducción de la materia oscura y la energía oscura en la historia, y la adición de un violento crecimiento acelerado en el instante posterior a la creación, conocido como Inflación. Los eventos que desencadenaron el Big Bang permanecen fuera de nuestro alcance, pero las mediciones de la tasa de expansión cósmica, con la ayuda de instrumentos como el Telescopio Espacial Hubble, ahora nos permiten precisar la época de la creación cósmica con gran precisión: el universo llegó a existir. Hace 13.798 mil millones de años, más o menos 0.037 mil millones de años. Existen varias teorías sobre el futuro del universo, pero muchos piensan que seguirá expandiéndose hasta alcanzar un estado de equilibrio termodinámico,100en años.-



CADA PARTICULA DE LA MATERIA TIENE UNA ANTIMATERIA CONTRAPARTIDA

PAUL DIRAC (1902-1984)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES

1925 Werner Heisenberg, Max Born y Pascual Jordan desarrollan la mecánica matricial para describir el comportamiento ondulatorio de las partículas.

1926 Erwin Schrodinger desarrolla una función de onda que describe el cambio en un electrón a lo largo del tiempo.

DESPUÉS

1932 Carl Anderson confirma la existencia del positrón, la antipartícula del electrón.

1940ricardo feynman, Sin-Itiro Tomonaga y Julian Schwinger desarrollan la electrodinámica cuántica, una forma matemática de describir la interacción entre la luz y la materia, que une completamente la teoría cuántica con la relatividad especial.

Dirac corrige de Schrödinger**ola ecuación**tener en cuenta **efectos relativistas**.

↓

de dirac**nueva ecuacion** predice la existencia de**antimateria**.

↓

Antimateriaes después**descubierto**, confirmando la predicción de Dirac.

↓

cada partícula de materia tiene una antimateria contrapartida.

mi El físico inglés Paul Dirac contribuyó en gran medida al marco teórico de la física cuántica en la década de 1920, pero probablemente sea más conocido hoy en día por predecir la existencia de antipartículas a través de las matemáticas.

Dirac era un estudiante de posgrado en la Universidad de Cambridge cuando leyó el innovador artículo de Werner Heisenberg sobre mecánica de matrices, que describía cómo las partículas saltan de un estado cuántico a otro. Dirac fue una de las pocas personas capaces de comprender las difíciles matemáticas del artículo y notó paralelismos entre las ecuaciones de Heisenberg y partes de la teoría clásica (precuántica) del movimiento de partículas conocida como mecánica hamiltoniana. Esto permitió a Dirac desarrollar un método mediante el cual los sistemas clásicos podían entenderse a nivel cuántico.

Uno de los primeros resultados de este trabajo fue una derivación de la idea del espín cuántico. Dirac formuló un conjunto de reglas que ahora se conocen como "estadísticas de Fermi-Dirac" (ya que Enrico Fermi también las encontró de forma independiente). Dirac nombró "fermiones" a partículas como los electrones que tienen un valor de espín medio entero, en honor a Fermi. Las reglas describen qué tan grande

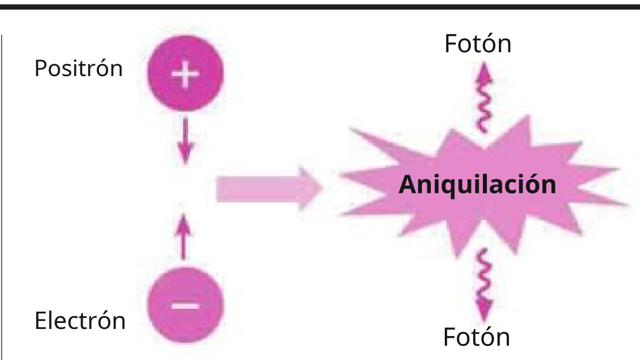
Ver también: James secretario Maxwell 180–85 · Albert Einstein 214–21 · Erwin Schrodinger 226-33 · Werner Heisenberg 234-35 · Ricardo Feynman 272–73

número de fermiones interactúan entre sí. En 1926, el supervisor de doctorado de Dirac, Ralph Fowler, usó sus estadísticas para calcular el comportamiento de un núcleo estelar que colapsa y explicar el origen de las estrellas enanas blancas superdensas.

Teoría cuántica de campos

Si bien gran parte de la física de los libros de texto se centra en las propiedades y la dinámica de partículas y cuerpos individuales bajo la influencia de fuerzas, se puede obtener una comprensión más profunda mediante el desarrollo de teorías de campo. Estos describen la forma en que las fuerzas hacen sentir su influencia en el espacio. La importancia de los campos como entidades independientes fue reconocida por primera vez a mediados del siglo XIX por James Clerk Maxwell mientras desarrollaba su teoría de la radiación electromagnética. La relatividad general de Einstein es otro ejemplo de teoría de campos.

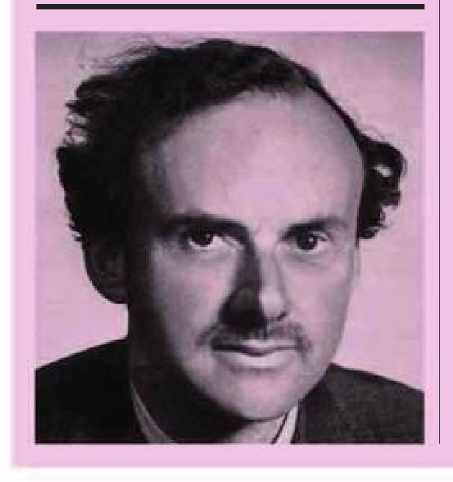
La nueva interpretación de Dirac del mundo cuántico era una teoría cuántica de campos. En 1928, le permitió producir una versión relativista de la ecuación de onda de Schrödinger para el electrón (es decir, uno que podría tener en cuenta los efectos de las partículas que se mueven cerca de la velocidad de la luz y, por lo tanto, modelar el mundo cuántico con mayor precisión que la ecuación no relativista de Schrödinger). La llamada ecuación de Dirac también predijo la existencia de partículas con propiedades idénticas a las partículas de materia pero con carga eléctrica opuesta. Fueron apodados "antimateria" (un término que se había utilizado en especulaciones más salvajes desde finales del siglo XIX).



Cuando una partícula y su antipartícula reunirse, ellos aniquilan. Su masa se convierte en fotones de electromagnético energía de acuerdo con la ecuacion *mi*=*mc*2.

La partícula antielectrónica, o positrón, fue confirmada experimentalmente por el físico estadounidense Carl Anderson en 1932, detectado primero en los rayos cósmicos (partículas de alta energía arrojadas a la atmósfera de la Tierra desde el espacio profundo), y luego en ciertos tipos de desintegración radiactiva. Desde entonces, la antimateria se ha convertido en un tema de intensa investigación física, y también en el amado de los escritores de ciencia ficción (particularmente por su hábito de “aniquilar” con un estallido de energía al contacto con la materia normal). Sin embargo, quizás lo más importante es que la teoría cuántica de Dirac La teoría de campos sentó las bases para la teoría de la electrodinámica cuántica, llevada a cabo por una generación posterior de físicos.

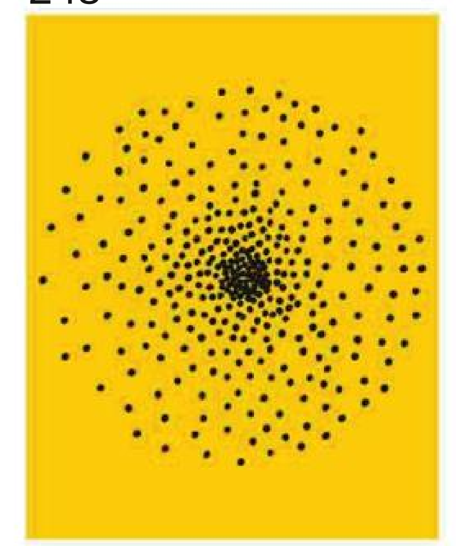
Pablo Dirac



Paul Dirac fue un genio matemático que hizo varias contribuciones clave a la física cuántica, compartiendo el Premio Nobel de Física con Erwin Schrödinger en 1933. Nacido en Bristol, Inglaterra, de padre suizo y madre inglesa, obtuvo títulos en ingeniería eléctrica y matemáticas. en la universidad de la ciudad, antes de continuar sus estudios en Cambridge, donde persiguió su fascinación por la relatividad general y la teoría cuántica. Después de sus avances revolucionarios de mediados de la década de 1920, continuó su trabajo en Göttingen. y Copenhague antes regresando a Cambridge, habiendo sido nombrado Catedrático Lucasiano de Matemáticas. Gran parte de su carrera posterior se centró en la electrodinámica cuántica. También persiguió la idea de unificar la teoría cuántica con la relatividad general, pero este esfuerzo tuvo un éxito limitado.

Trabajos clave

1930 *Principios de la Mecánica Cuántica*
1966 *Conferencias sobre teoría cuántica de campos*



HAY UN LÍMITE SUPERIOR MÁS ALLÁ DEL CUAL UN ESTELAR EN COLAPSO EL NÚCLEO SE VUELVE INESTABLE

SUBRAHMANYAN CHANDRASEKHAR (1910–1995)

EN CONTEXTO

RAMA
Astrofísica

ANTES
Siglo 19 Las estrellas enanas blancas se descubren cuando los astrónomos identifican una estrella que tiene mucha más masa de lo que sugiere su pequeño tamaño.

DESPUÉS
1934 Fritz Zwicky y Walter Baade proponen que las explosiones conocidas como supernovas marcan la muerte de estrellas masivas y el colapso de sus núcleos forman estrellas de neutrones.

1967 Los astrónomos británicos Jocelyn Bell y Anthony Hewish detectan señales de radio que pulsan rápidamente de un objeto ahora conocido como "púlsar", una estrella de neutrones que gira rápidamente.

1971 Se descubre que las emisiones de rayos X de una fuente conocida como Cygnus X-1 se originan a partir de material caliente en espiral hacia lo que probablemente sea un agujero negro, el primer objeto de este tipo que se confirma.

T el desarrollo de física cuántica en la década de 1920 tuvo implicaciones para astronomía, donde se aplicó a la comprensión de las estrellas superdensas conocidas como enanas blancas. Estos son los núcleos quemados de estrellas similares al Sol que han agotado su combustible nuclear y se han derrumbado, bajo su propia gravedad, en objetos del tamaño de la Tierra. En 1926, los físicos Ralph Fowler y Paul Dirac explicaron que el colapso se detiene en este tamaño debido a la "presión degenerada de electrones" que surge cada vez que los electrones se empaquetan tan estrechamente que el principio de exclusión de Pauli (p. 230), que dos partículas no pueden ocupar el mismo estado cuántico— entra en juego.

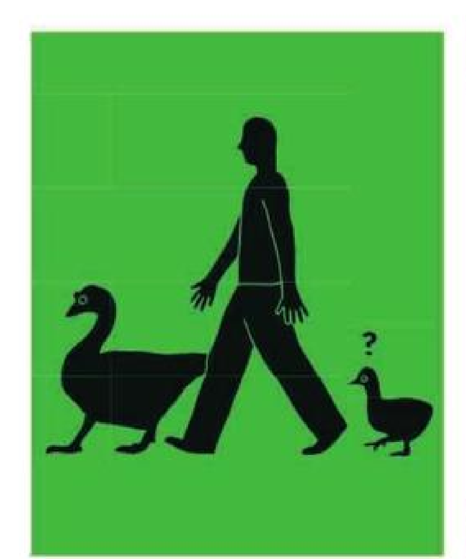
Formando un agujero negro
En 1930, el astrofísico indio Subrahmanyan Chandrasekhar descubrió que había un límite superior para la masa de un núcleo estelar más allá del cual la gravedad superaría la presión degenerada de los electrones. El núcleo estelar colapsaría en un solo punto en el espacio conocido como una singularidad, formando un agujero negro. Ahora se sabe que este "Límite de Chandrasekhar" para un núcleo estelar que colapsa es de 1,44 masas solares (o 1,44 veces la masa del Sol). Sin embargo, hay una etapa intermedia entre la enana blanca y el agujero negro: una estrella de neutrones del tamaño de una ciudad estabilizada por otro efecto cuántico llamado "presión de degeneración de neutrones". Los agujeros negros se crean solo cuando el núcleo de la estrella de neutrones supera un límite superior entre 1,5 y 3 masas solares.



Los agujeros negros de la naturaleza son los macroscópicos más perfectos. objetos en el Universo.
Subrahmanian Chandrasekhar



Ver también: John Michell 88–89 Albert Einstein 214–21 Pablo Dirac 246-47 Fritz Zwicky 250–51 Stephen Hawking 314



LA VIDA MISMA ES UN PROCESO DE OBTENCIÓN CONOCIMIENTO

CONRAD LORENZ (1903–1989)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES
1872 charles darwin describe el comportamiento heredado en *La expresión de las emociones en el hombre y los animales*.

1873 douglas spalding hace una distinción entre el comportamiento innato (genético) y aprendido en las aves.

década de 1890 El fisiólogo ruso Ivan Pavlov demuestra que los perros pueden ser condicionados para salivar en una forma simple de aprendizaje.

DESPUÉS
1976 zoólogo británico Richard Dawkins publica *El gen egoísta*, en el que hace hincapié en el papel de los genes en el comportamiento de conducción.

años 2000 Una nueva investigación revela una creciente evidencia de la importancia de la enseñanza entre muchas especies de animales, desde insectos hasta orcas.

A Entre los primeros en realizar experimentos científicos sobre el comportamiento de los animales estuvo el biólogo inglés del siglo XIX Douglas Spalding, que estudió las aves. La opinión predominante era que el comportamiento complejo de las aves se aprendía, pero Spalding pensaba que algunos comportamientos eran innatos: se heredaban y esencialmente estaban "programados", como la tendencia de una gallina a incubar sus huevos.

La etología moderna, el estudio del comportamiento animal, acepta que el comportamiento incluye tanto componentes aprendidos como innatos: el comportamiento es estereotípico y, debido a que se hereda, puede evolucionar por selección natural, mientras que el comportamiento aprendido puede modificarse por la experiencia.

Imprimiendo gansos

En la década de 1930, el biólogo austriaco Konrad Lorenz se centró en una forma de comportamiento aprendido en las aves que denominó "impresión". Estudió la forma en que los gansos de ganso silvestre imprimen o siguen el primer estímulo móvil elegible que ven, generalmente su madre—dentro de un período crítico después de la eclosión. El ejemplo de la madre desencadena un comportamiento instintivo conocido como “patrón de acción fijo” en su descendencia.



Estas grullas y gansos, incubadas y criadas por Christian Moullec, impresas en él y lo siguen a todas partes. Volando en su ultraligero, les enseña sus rutas migratorias.

Lorenz lo demostró con los pichones, que lo adoptaron como madre y lo siguieron a todas partes. Incluso se imprimían en objetos inanimados y seguían un modelo de tren en círculos en su vía. Junto con el biólogo holandés Nikolaas Tinbergen, Lorenz recibió el Premio Nobel de Fisiología en 1973.

Ver también: Charles Darwin 142–49 · Gregorio Mendel 166–71 · Thomas Hunt Morgan 224–25



95 POR CIENTO DEL UNIVERSO ESTÁ PERDIDO

FRITZ ZWICKY (1898–1974)

EN CONTEXTO

RAMA
Física y cosmología

ANTES
1923 Edwin Hubble confirma la verdadera naturaleza de las galaxias como sistemas estelares independientes a millones de años luz más allá de la Vía Láctea.

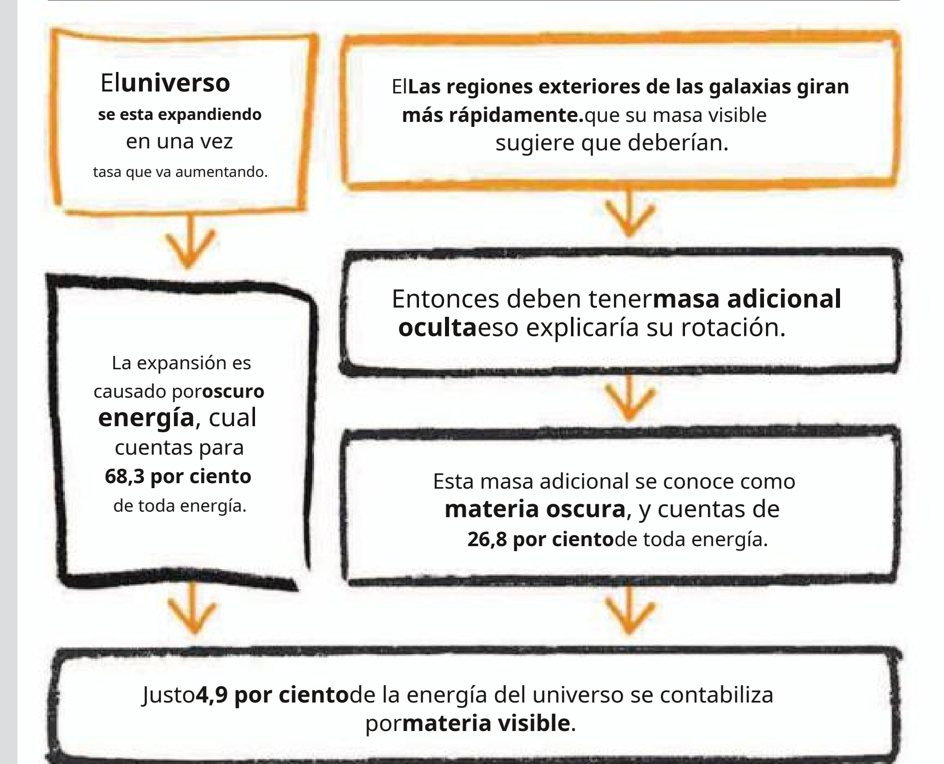
1929 Hubble establece que el universo se está expandiendo, y que las galaxias se alejan de nosotros más rápidamente cuanto más lejos están (el llamado Hubble Flow).

DESPUÉS
1950 El astrónomo estadounidense George Abell compila el primer catálogo detallado de cúmulos de galaxias. Estudios posteriores de cúmulos de galaxias han confirmó repetidamente la existencia de materia oscura.

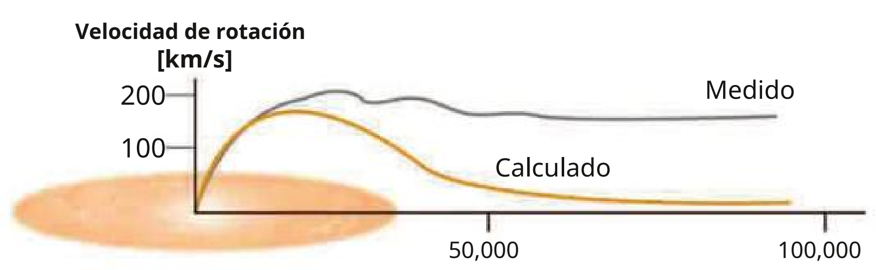
1950-presente Varios los modelos del Big Bang predicen que debería haber generado mucha más materia de la que es visible actualmente.

T La idea de que el universo podría estar dominado por algo más que La materia luminosa detectable fue propuesta por primera vez por el astrónomo suizo Fritz Zwicky. En 1922-1923, Edwin Hubble se dio cuenta de que las "nebulosas" eran, de hecho, galaxias distantes.

Una década más tarde, Zwicky se dispuso a medir la masa total del cúmulo de galaxias Coma. Usó un modelo matemático llamado teorema de Virial, que le permitió calcular la masa total a partir de las velocidades relativas de los cúmulos de galaxias individuales. A lo de Zwicky



Ver también: Edwin Hubble 236–41 · Georges Lemaître 242-45



Si la distribución de masa de nuestra galaxia coincidiera con la de su materia visible, entonces las estrellas en el disco exterior de la galaxia se moverían más lentamente a mayores distancias del centro masivo. La investigación de Vera Rubin encontró que más allá de cierta distancia, las estrellas tienden a moverse a una velocidad uniforme, independientemente de su distancia desde el centro, revelando materia oscura en el halo exterior de la galaxia.

Sorpresa, sus resultados sugirieron que el cúmulo contenía unas 400 veces más masa que la sugerida por la luz combinada de sus estrellas. Zwicky llamó a esta asombrosa cantidad de materia invisible "materia oscura".

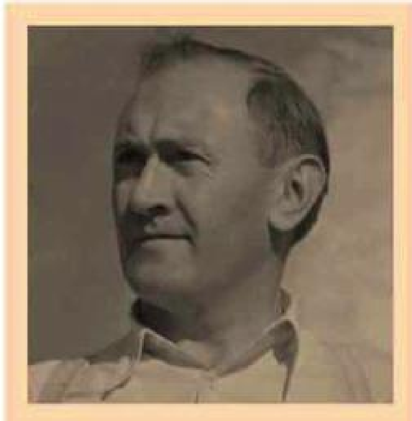
La conclusión de Zwicky se pasó por alto en gran medida en ese momento, pero en la década de 1950, la nueva tecnología había abierto nuevos medios para detectar material no luminoso. Estaba claro que grandes cantidades de materia son demasiado frías para brillar en la luz visible, pero aún irradian en longitudes de onda infrarrojas y de radio. A medida que los científicos comenzaron a comprender la estructura visible e invisible de nuestra galaxia y otras, la cantidad de "masa faltante" se redujo sustancialmente.

Lo invisible es real

La realidad de la materia oscura finalmente se reconoció en la década de 1970, después de que la astrónoma estadounidense Vera Rubin mapeó la velocidad de las estrellas que orbitan en la Vía Láctea y midió la distribución de su masa. Mostró que grandes cantidades de masa se distribuyen más allá de los confines visibles de la galaxia, en una región conocida como el halo galáctico.

Hoy en día se acepta ampliamente que la materia oscura constituye alrededor del 84,5 por ciento de la masa del universo. Cualquier esperanza de que en realidad podría ser materia normal en formas difíciles de detectar, como agujeros negros o planetas rebeldes, no ha sido confirmada por la investigación. Ahora se piensa que la materia oscura comprende las llamadas Partículas Masivas de Interacción Débil (WIMP). Las propiedades de estas partículas subatómicas hipotéticas todavía están desconocidas: no solo son oscuras y transparentes, sino que no interactúan con la materia normal o la radiación excepto a través de la gravedad.

Desde finales de la década de 1990, ha quedado claro que incluso la materia oscura se ve eclipsada por la "energía oscura". Este fenómeno es la fuerza que acelera la expansión del universo (págs. 236-241), y su naturaleza aún se desconoce; puede ser una característica integral del propio espacio-tiempo o una quinta fuerza fundamental conocida como "quintaesencia". Se cree que la energía oscura representa el 68,3 por ciento de toda la energía del universo, la energía de la materia oscura asciende al 26,8 por ciento y la materia normal a solo el 4,9 por ciento.



fritz zwicky

Nacido en Varna, Bulgaria, en 1898, Fritz Zwicky fue criado por sus abuelos suizos y mostró un talento temprano para la física. En 1925, se fue a los Estados Unidos para trabajar en el Instituto de Tecnología de California. (Caltech), donde pasó el resto de su carrera.

Además de su trabajo sobre la materia oscura, Zwicky también es conocido por su investigación sobre estrellas masivas en explosión. Él y Walter Baade fueron los primeros en mostrar la existencia de estrellas de neutrones de tamaño intermedio entre las enanas blancas y los agujeros negros, y acuñaron el término "supernovas" para las enormes explosiones estelares en las que estos masivos. nacen remanentes estelares. Al mostrar que una clase de supernova siempre alcanza el mismo brillo máximo durante sus explosiones, también proporcionaron un medio para medir la distancia a galaxias lejanas independientemente de la Ley de Hubble, allanando el camino para el posterior descubrimiento de la energía oscura.

Trabajos clave

1934 *sobre supernovas* (con Walter Baade)
1957 *Astronomía Morfológica*



UN UNIVERSAL INFORMÁTICA MÁQUINA

ALAN TURING (1912-1954)

EN CONTEXTO

RAMA

Ciencias de la Computación

ANTES

1906 El ingeniero eléctrico estadounidense Lee De Forest inventa la válvula triodo, el pilar de las primeras computadoras electrónicas.

1928 El matemático alemán David Hilbert formula el "problema de decisión", preguntando si los algoritmos pueden manejar todo tipo de entradas.

DESPUÉS

1943 Las computadoras Colossus basadas en válvulas, que utilizan algunas de las ideas para descifrar códigos de Turing, comienzan a trabajar en Bletchley Park.

1945 El matemático estadounidense John von Neumann describe la estructura lógica básica, o arquitectura, de la computadora moderna con programa almacenado.

1946 La primera computadora programable electrónica de propósito general, ENIAC, basada en parte en los conceptos de Turing, se revela.

Calculando el Las respuestas a muchos problemas numéricos pueden ser**reducido** a una serie de operaciones matemáticas pasos, o**algoritmo**.

A**máquina de Turing** puede, con las instrucciones correctas, calcular la solución a cualquier **algoritmo solucionable**.

Tareas variadas se puede resolver usando diferentes conjuntos de instrucciones en un**programable** **dispositivo**.

Esta es una máquina informática universal.

Imagina ordenar 1000 números aleatorios, por ejemplo 520, 74, 2395, 4, 999..., en orden ascendente. Algún tipo de procedimiento automático podría ayudar. Por ejemplo: **A**Compara el primer par de números. **B**Si el segundo número es más bajo, intercambie los números, vuelva a A. Si es igual o más alto, vaya a C. **C**Haz que el segundo número del último par sea el primero de un nuevo par. Si hay un próximo número, conviértalo en el segundo número del par, vaya a B. Si no hay un próximo número,**fiterminar**.

Este conjunto de instrucciones es una secuencia conocida como algoritmo. Comienza con una condición o estado inicial; recibe datos o entradas; se ejecuta un número finito de veces; y produce un resultado final, o salida. La idea es familiar para cualquier programador de computadoras hoy en día. Se formalizó por primera vez en 1936, cuando el matemático y lógico británico Alan Turing concibió máquinas que ahora se conocen como
Máquinas de Turing para realizar este tipo de procedimientos. Su trabajo fue inicialmente

Ver también: Donald Michie 286–91 · Yuri Manín 317

teórico: un ejercicio de lógica. Estaba interesado en reducir una tarea de números a su forma automática más simple y básica.

la máquina-a

Para ayudar a visualizar la situación, Turing concibió una máquina hipotética. La "máquina-a" ("a" para automático) era una cinta de papel larga dividida en cuadrados, con un número, letra o símbolo en cada cuadrado, y un cabezal de cinta de lectura/impresión. Con instrucciones en forma de tabla de reglas, el cabezal de la cinta lee el símbolo del cuadrado que ve y lo altera borrando e imprimiendo otro, o lo deja tal como lo marcan las reglas. Luego se mueve a un cuadrado hacia la izquierda o hacia la derecha y repite el procedimiento. Cada vez hay una configuración general diferente de la máquina, con una nueva secuencia de símbolos.

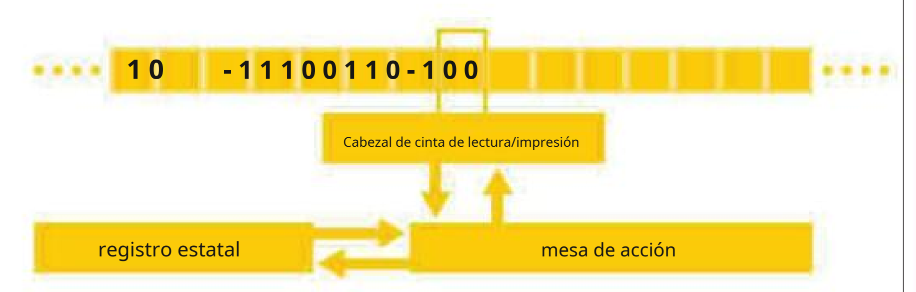
Todo el proceso se puede comparar con el algoritmo de clasificación de números anterior. Este algoritmo se construye para una tarea en particular. De manera similar, Turing imaginó una gama de máquinas, cada una con un conjunto de instrucciones o reglas para una empresa en particular. Agregó: "Solo tenemos que considerar las reglas como capaz de ser sacado e intercambiado por otros y tenemos algo muy parecido a una máquina informática universal".

Ahora conocido como Universal Turing Machine (UTM), este dispositivo tenía un almacén infinito (memoria) que contenía tanto instrucciones como datos. Por lo tanto, la UTM podría simular cualquier máquina de Turing. Lo que Turing llamó cambiar las reglas ahora se llamaría programación. De esta manera, Turing introdujo por primera vez el concepto de computadora programable, adaptable para muchas tareas, con entrada, procesamiento de información y salida.

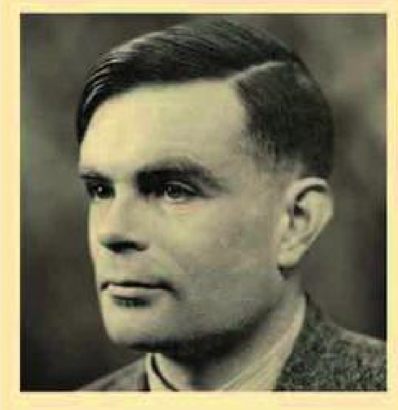


Una computadora merecería ser llamada inteligente si pudiera engañar a un humano haciéndole creer que es humano.
alan turing





Una máquina de Turinges un modelo matemático de una computadora. La cabeza lee un número en la cinta infinitamente larga, escribe un nuevo número en él y se mueve hacia la izquierda o hacia la derecha según las reglas contenidas en la tabla de acción. El registro de estado realiza un seguimiento de los cambios y retroalimenta esta entrada a la tabla de acciones.



alan turing

Nacido en Londres en 1912, Turing mostró un prodigioso talento para las matemáticas en la escuela. Obtuvo un título de primera clase en matemáticas de Kings College, Cambridge, en 1934, y trabajó en la teoría de la probabilidad. De 1936 a 1938 estudió en la Universidad de Princeton en Estados Unidos, donde propuso sus teorías sobre una máquina informática generalizada.

Durante la Segunda Guerra Mundial, Turing diseñó y ayudó a construir una computadora en pleno funcionamiento conocida como "Bombe" para descifrar los códigos alemanes creados por la llamada máquina Enigma. Turing también estaba interesado en la teoría cuántica y las formas y patrones en biología. En 1945, se trasladó al Laboratorio Nacional de Física de Londres y luego a la Universidad de Manchester para trabajar en proyectos informáticos. En 1952, fue juzgado por actos homosexuales (entonces ilegales), y dos años más tarde murió por envenenamiento con cianuro; parece probable que esto haya sido por suicidio y no por accidente.

En 2013, a Turing se le concedió un indulto póstumo.

Obra clave

1939*Informe sobre las aplicaciones de la probabilidad a la criptografía*

LA NATURALEZA D

HEMI CALIFORN

Bo norte

DE T EL C

LINUS PAULING (1901–1994)



EN CONTEXTO

RAMA
Química

ANTES

1800 Alessandro Volta enumera los metales en orden decreciente de electropositividad.

1852 El químico británico Edward Frankland afirma que los átomos tienen un poder de combinación definido, lo que determina las fórmulas de los compuestos.

1858 August Kekulé muestra que el carbono tiene una valencia de cuatro: forma cuatro enlaces con otros átomos.

1916físico americano
El químico Gilbert Lewis muestra que un enlace covalente es un par de electrones compartidos por dos átomos en una molécula.

DESPUÉS

1938 El matemático británico Charles Coulson calcula una función de onda orbital molecular precisa para el hidrógeno.

IA fines de la década de 1920 y principios de la de 1930, en una serie de artículos históricos, el químico estadounidense Linus Pauling descubrió una explicación mecánica cuántica de la naturaleza de los enlaces químicos. Pauling había estudiado mecánica cuántica en Europa con el físico alemán Arnold Sommerfeld en Munich, con Niels Bohr en Copenhague y con Erwin Schrödinger en Zúrich. Ya había decidido que quería investigar los enlaces dentro de las moléculas y se dio cuenta de que la mecánica cuántica le proporcionaba las herramientas adecuadas para hacerlo.

Hibridación de orbitales

Cuando regresó a los EE. UU., Pauling publicó alrededor de 50 artículos y, en 1929, estableció un conjunto de cinco reglas para interpretar los patrones de difracción de rayos X de cristales complicados, ahora conocidos como reglas de Pauling. Al mismo tiempo, estaba dirigiendo su atención a la unión entre átomos en moléculas covalentes (moléculas en las que los átomos se unen compartiendo dos electrones entre sí), especialmente de compuestos orgánicos a base de carbono.

Mecánica cuántica proporciona una nueva forma de describir el comportamiento de**electrones**.

Puede ser**modificado** para explicar la estructura de**moléculas**.

La naturaleza del enlace químico refleja la mecánica cuántica
comportamiento de los electrones.

órbitas de electrones

y
z
X
s orbitales
pag$_x$orbital
y
pag$_y$orbital
z
pag$_z$orbital

electronesorbitan un núcleo atómico de varias maneras: en capas alrededor del centro (s) o lóbulos a lo largo de un eje (p).

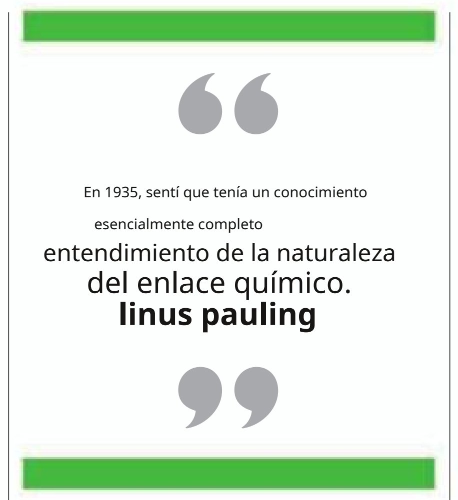
Un átomo de carbono tiene seis electrones en total. Los pioneros europeos de la mecánica cuántica designaron a los dos primeros como "electrones 1s": estos tienen un orbital esférico o capa alrededor del núcleo de carbono, como un globo inflado alrededor de una pelota de golf en el centro. Fuera del caparazón 1s hay otro caparazón que contiene dos "electrones 2s". El caparazón 2s es como otro globo más grande fuera del primero. Por último, están los "orbitales p", que tienen grandes lóbulos que sobresalen a ambos lados del núcleo. la pag$_x$orbital se encuentra en el eje x, el p$_y$en el eje y, y la p$_z$orbital en el eje z. Los dos últimos electrones del átomo de carbono ocupan dos de estos orbitales tal vez uno en p$_x$y uno en p$_y$.

La nueva imagen de la mecánica cuántica de los electrones trataba sus órbitas como "nubes" de densidades de probabilidad. Ya no era del todo correcto pensar en los electrones como puntos que se mueven alrededor de sus órbitas; más bien, su existencia fue manchada a través de las órbitas. Esta nueva imagen no local de la realidad permitió algunas ideas nuevas y radicales para la química.

Ver también: Agosto Kekulé 160–65 - Max Planck 202-05 Erwin Schrodinger 226-33 - Harry Kroto 320–21

vinculación Los enlaces pueden ser enlaces "sigma" fuertes, en los que los orbitales se superponen de frente, o enlaces "pi" más débiles y difusos, en los que los orbitales son paralelos entre sí.

A Pauling se le ocurrió la idea de que en una molécula, a diferencia de un átomo desnudo, los orbitales atómicos del carbono podrían combinarse o "hibridarse".
para dar enlaces más fuertes a otros átomos. Demostró que los orbitales s y p podían hibridarse para formar cuatro sp_3 híbridos, que serían todos equivalentes, y se proyectarían desde el núcleo hacia los vértices de un tetraedro, con ángulos entre enlaces de 109,5°. Cada sp_3orbital puede formar un enlace sigma con otro átomo. Esto es consistente con el hecho de que todos los átomos de hidrógeno en el metano (CH_4), y todos los átomos de cloro en el tetracloruro de carbono (CCl_4), comportarse de la misma manera. Como las estructuras de varios carbonos



En 1935, sentí que tenía un conocimiento esencialmente completo entendimiento de la naturaleza del enlace químico.
linus pauling

Cuando se estudiaron los compuestos, los cuatro átomos vecinos más cercanos a menudo se encontraban en una disposición tetraédrica. La estructura cristalina del diamante fue una de las primeras estructuras en ser resuelta por
Cristalografía de rayos X, en 1914.

El diamante es carbono puro, y en el cristal cada átomo de carbono está unido a otros cuatro mediante enlaces sigma en las esquinas de un tetraedro. Esta estructura explica la dureza del diamante.

Otra forma posible de que los átomos de carbono se unan a otros átomos es que un orbital s se mezcle con dos orbitales p para formar tres orbitales sp_2híbridos. Estos sobresalen del núcleo en un plano, con ángulos de 120° entre ellos. Esto es consistente con la geometría de moléculas como el etileno, que tiene la estructura de doble enlace $H_2C=CH_2$. Aquí, se forma un enlace sigma entre los átomos de carbono por uno de los sp_2híbridos y un enlace pi por el cuarto orbital no hibridado.

Por último, un orbital s puede mezclarse con un orbital p para formar dos híbridos sp, cuyos lóbulos sobresalen en línea recta, separados 180°. esto es consistente→

Metano

H H H H C

cuatro electronesen el átomo de carbono se hibridan para formar cuatro sp_3orbitales

Etileno

H H H H C C enlace pi enlace sigma

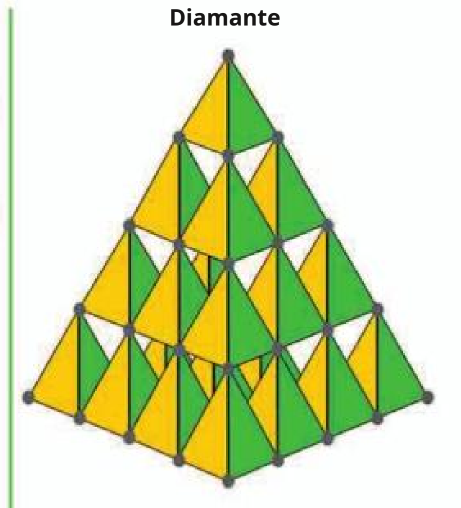
tres electronesen los átomos de carbono se hibridan para formar tres sp_2orbitales Los orbitales no hibridados restantes forman un segundo enlace pi entre los átomos de carbono.

Dióxido de carbono

O C O enlace pi enlace sigma

dos electronesen el átomo de carbono forma dos orbitales sp, cada uno de los cuales se une a un átomo de oxígeno.
los dos restantes los orbitales se unen al oxígeno en un enlace pi.

Diamante



Cada átomo de carbonoen un diamante está unido por sp_3híbridos a otros cuatro átomos para formar la esquina de un tetraedro. El resultado es una red infinita que se mantiene unida por enlaces covalentes carbono-carbono, que son inmensamente fuertes.

con la estructura del dióxido de carbono (CO_2), donde los híbridos sp forman cada uno un enlace sigma con el oxígeno, y los dos orbitales no hibridados restantes forman un segundo enlace pi.

Una nueva estructura del benceno. La estructura del benceno, C_6H_6Había preocupado a August Kekulé cuando propuso por primera vez que se trataba de un anillo, más de 60 años antes. Eventualmente sugirió que los átomos de carbono debían estar conectados con enlaces simples y dobles alternos, y que la molécula oscilaba entre los dos.

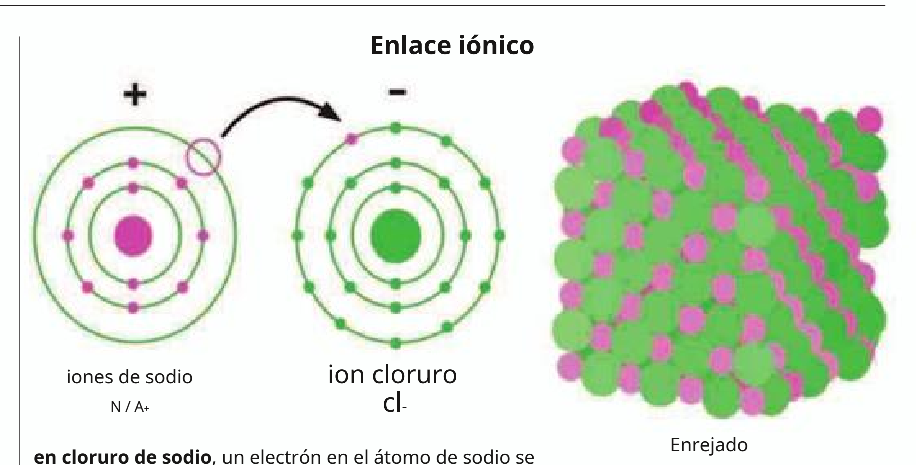
estructuras equivalentes (p.164).

La solución alternativa de Pauling fue elegante. Dijo que los átomos de carbono eran todos sp_2 hibridaron, de modo que los enlaces entre ellos y los átomos de hidrógeno se encuentran todos en el mismo plano xy y forman un ángulo de 120° entre sí. Cada átomo de carbono tiene un electrón restante en ap_zorbital. Estos electrones se combinan para formar un enlace que conecta los seis átomos de carbono. Este es un enlace pi y, en él, los electrones permanecen por encima y por debajo del anillo, y lejos de los núcleos de carbono (ver a la derecha).

Enlace iónico

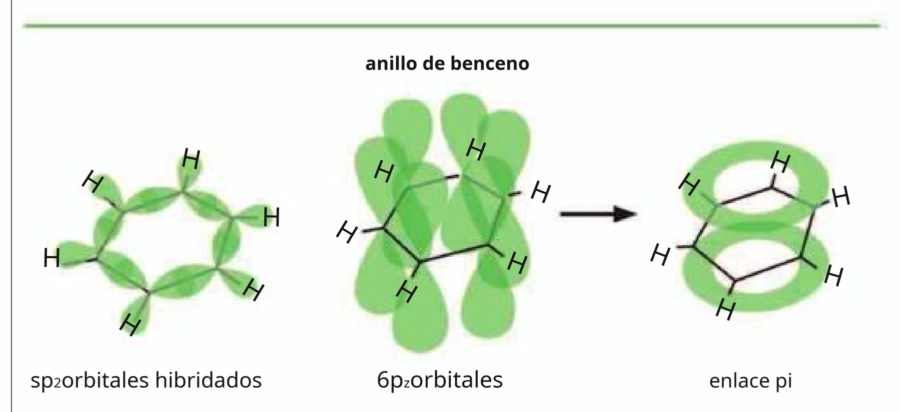
El metano y el etileno son gases a temperatura ambiente. El benceno y muchos otros compuestos orgánicos a base de carbono son líquidos. Tienen moléculas pequeñas y livianas que pueden moverse fácilmente en estado gaseoso o líquido. Las sales como el carbonato de calcio y el nitrato de potasio, por el contrario, son casi invariablemente sólidas y se derriten solo a altas temperaturas. Y, sin embargo, una unidad de cloruro de sodio (NaCl) tiene un peso molecular de 62, mientras que el benceno tiene un peso molecular de 78. La diferencia en su comportamiento no se explica por

Enlace iónico



en cloruro de sodio, un electrón en el átomo de sodio se mueve hacia un átomo de cloro para formar dos iones estables cargados. Los iones se mantienen unidos por atracción electrostática para formar una red estable.

anillo de benceno



En un anillo de benceno, los átomos de carbono están unidos entre sí y un átomo de hidrógeno por sp_2orbitales hibridados. Los anillos están unidos entre sí por un enlace pi no localizado formado a partir de las seis $p_z$orbitales

su peso, sino por su estructura. El benceno se mantiene unido en moléculas individuales mediante enlaces covalentes entre los átomos; eso es, cada enlace comprende un par de electrones compartidos entre dos átomos específicos.

El cloruro de sodio tiene propiedades bastante diferentes. El sodio metálico plateado se quema enérgicamente en el gas cloro verdoso para producir el cloruro de sodio sólido blanco. El átomo de sodio tiene una capa estable completa de electrones alrededor del núcleo, más uno de repuesto.

electrón fuera de eso. Al átomo de cloro le falta un electrón para formar una capa completa estable. Cuando reaccionan, se transfiere un electrón del átomo de sodio al átomo de cloro, y ambos adquieren capas completas estables de electrones, pero ahora el sodio se ha convertido en un ion de sodio Na^+, y el cloro se ha convertido en el ion cloruro Cl^-(véase más arriba). No tienen electrones de repuesto para formar enlaces covalentes, pero los iones ahora están cargados: el átomo de sodio ha perdido un electrón con carga negativa, por lo que ahora tiene un



No hay zona del mundo que no deba ser investigada por científicos. Siempre quedarán algunas preguntas que no han sido respondidas. En general, estas son las preguntas que aún no han sido planteado.

linus pauling



carga global positiva; el átomo de cloro ha ganado un electrón y tiene carga negativa. Los iones se mantienen unidos por atracción electrostática, más a menos, un enlace fuerte.

El cloruro de sodio fue el primer compuesto analizado por cristalografía de rayos X. Se encontró que en realidad no existe tal cosa como una molécula de NaCl. El La estructura comprende una matriz infinita de iones de sodio y cloruro alternados. Cada ion de sodio está rodeado por seis iones de cloruro y cada cloruro está rodeado por seis sodios. Muchas otras sales tienen estructuras similares: redes infinitas de un tipo de ion con diferentes iones llenando todos los huecos.

Electronegatividad

Pauling explicó el enlace iónico en compuestos como el cloruro de sodio, que es puramente iónico, y también compuestos en los que el enlace no es ni puramente iónico ni puramente covalente, sino algo intermedio. Este trabajo lo llevó a desarrollar el concepto de electronegatividad, que hasta cierto punto se hizo eco de la lista de metales en orden decreciente de electropositividad presentada por primera vez por Alessandro Volta en 1800. Pauling descubrió que el enlace covalente formado entre átomos de dos elementos diferentes (por ejemplo, C–O) es más fuerte de lo que cabría esperar del promedio de las fuerzas de los enlaces C-C y los enlaces O-O. Pensó que debía haber algún factor eléctrico que fortaleciera el vínculo, y se dispuso a calcular valores para este factor. La escala ahora se conoce como la escala de Pauling.

La electronegatividad de un elemento (estrictamente hablando en un compuesto particular) es una medida de la fuerza con la que un átomo del elemento atrae electrones hacia sí mismo. El elemento más electronegativo es el flúor; el menos electronegativo (o el más electropositivo) de los elementos conocidos es el cesio. En el compuesto fluoruro de cesio, cada átomo de flúor extrae un electrón por completo del átomo de cesio, lo que da como resultado un compuesto iónico Cs^+F^-.

En un compuesto covalente como el agua (H_2O), no hay iones, pero el oxígeno es mucho más electronegativo que el hidrógeno, y el resultado es que la molécula de agua es polar, con una pequeña carga negativa en el átomo de oxígeno y una pequeña carga positiva en los átomos de hidrógeno. Las cargas hacen que las moléculas de agua se unan fuertemente. Este explica por qué el agua tiene tanta tensión superficial y un punto de ebullición tan alto.

Pauling propuso por primera vez una escala de electronegatividad en 1932, y él y otros la desarrollaron aún más en los años siguientes. Por su trabajo para dilucidar la naturaleza del enlace químico, ganó el Premio Nobel de Química en 1954.



linus pauling

Linus Carl Pauling nació en Portland, Oregón, Estados Unidos. Escuchó por primera vez sobre la mecánica cuántica cuando aún estaba en Oregón y ganó una beca para estudiar el tema con algunos de los expertos mundiales en Europa en 1926. Regresó para convertirse en profesor asistente en el Instituto de California de Tecnología, donde permaneció durante la mayor parte de su vida.

Pauling se interesó mucho por las moléculas biológicas y descubrió que la anemia de células falciformes es una enfermedad molecular. También fue un activista por la paz, y recibió el Premio Nobel de la Paz en 1963 por intentar mediar entre los Estados Unidos y Vietnam.

Posteriormente, su reputación se dañó como resultado de su entusiasmo por la medicina alternativa. Abogó por el uso de altas dosis de vitamina C como defensa contra el resfriado común, un tratamiento que posteriormente ha demostrado ser ineficaz.

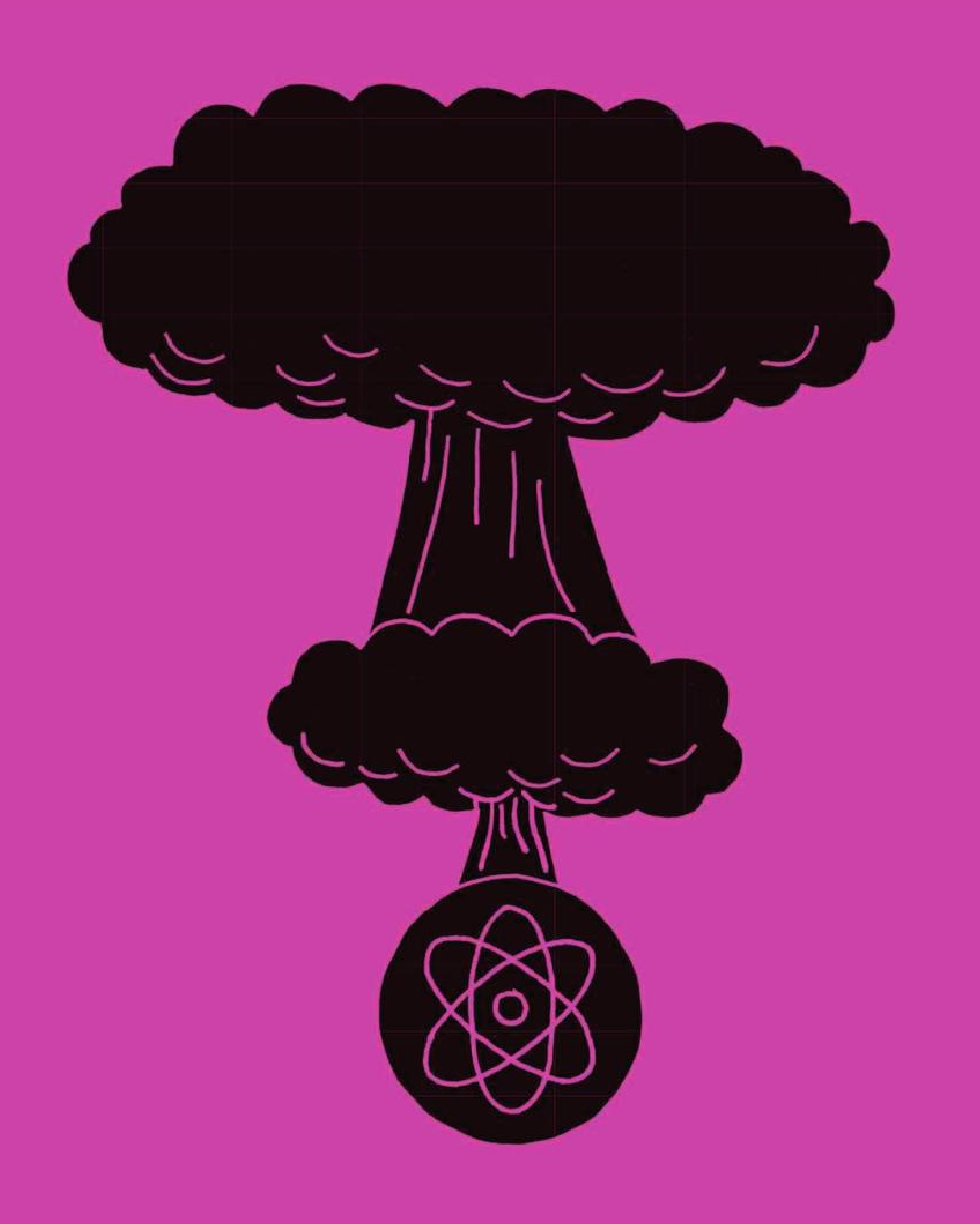
Obra clave

1939 *La naturaleza del enlace químico y la estructura de las moléculas y Cristales*

UN IMPRESIONANTE



J. ROBERT OPPENHEIMER (1904–1967)



EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES
1905 La famosa ecuación de equivalencia masa-energía de Albert Einstein*mi=mc2*describe cómo pequeñas masas “almacenan” grandes cantidades de energía.

1932 Los experimentos de John Cockcroft y Ernest Walton dividiendo núcleos de litio con protones insinúan la enorme energía encerrada dentro del núcleo.

1939 Leó Szilárd advierte que un solo evento de fisión de uranio-235 libera tres neutrones y sugiere que es posible una reacción en cadena.

DESPUÉS
1954 La central nuclear de Obninsk de la URSS entra en funcionamiento. Es la primera central nuclear en generar electricidad para la red nacional de un país.



In 1938, el mundo se encontraba en el umbral de la era atómica. Un hombre daría un paso adelante para liderar el impulso científico que marcaría el comienzo de esta nueva era. Para J. Robert Oppenheimer, esta decisión finalmente lo destruiría. Era el administrador del proyecto científico más grande que el mundo había visto, el Proyecto Manhattan, pero llegó a lamentar profundamente su participación en él.

Conducir al centro

La variada vida profesional de Oppenheimer se caracterizó por un impulso despiadado de "estar donde está". y esta compulsión llevó al recién graduado de Harvard a Europa, el centro de un florecimiento de la física teórica. En la Universidad de Göttingen, Alemania, en 1926, produjo la aproximación de Born-Oppenheimer con Max Born, utilizada para explicar, como dijo Oppenheimer, “por qué las moléculas son moléculas." Este método amplió la mecánica cuántica más allá de los átomos individuales para describir la energía de los compuestos químicos. Fue un ejercicio matemático ambicioso, ya que se había desarrollado un vertiginoso rango de posibilidades para cada electrón en una molécula. para ser computado El trabajo de Oppenheimer en Alemania ha demostrado ser crucial para calcular la energía en la química moderna, pero el avance final que conduciría a la bomba atómica se produjo después de su regreso a los Estados Unidos.

Fisión y agujeros negros

La reacción en cadena que condujo a la construcción de la bomba atómica comenzó a mediados de diciembre de 1938, cuando los químicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassmann “dividieron el átomo” en su laboratorio de Berlín. Habían estado disparando neutrones al uranio,

Ver también: María Curie 190–95 · Ernest Rutherford 206–13 Albert Einstein 214–21



Sabíamos que el mundo no ser el mismo. Algunas personas se rieron. Algunas personas lloraron. La mayoría de la gente estaba en silencio. Recordé la línea de la escritura hindú: “Ahora Me he convertido en Muerte, el Destructor de mundos."

J. Robert Oppenheimer

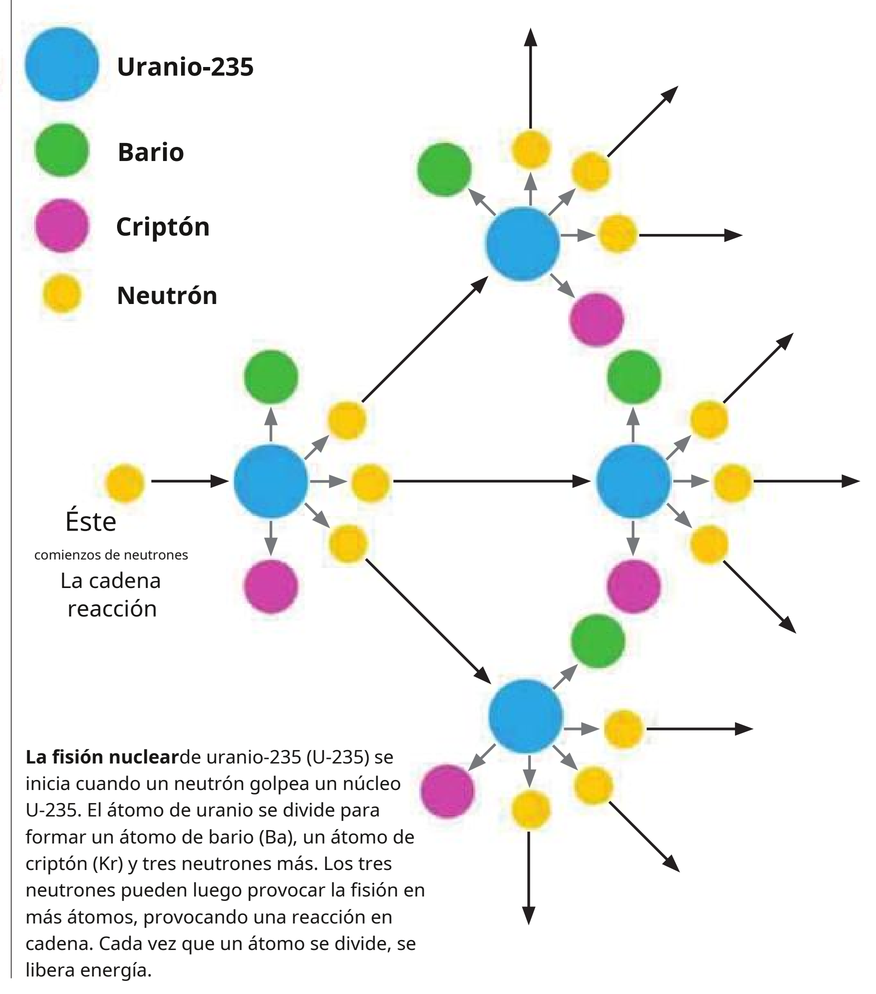


pero en lugar de crear elementos más pesados por absorción de neutrones, o elementos más livianos por emisión de uno o más nucleones (protones o neutrones), la pareja descubrió que se liberaba el elemento más liviano, el bario, que tenía 100 nucleones menos que el núcleo de uranio. Ningún proceso nuclear entendido en ese momento podría explicar la pérdida de 100 nucleones.

Perplejo, Hahn envió una carta a sus colegas Lise Meitner y Otto Frisch en Copenhague. En menos de un mes, Meitner y Frisch habían descubierto el mecanismo básico de la fisión nuclear, reconociendo cómo el uranio se dividía en bario y criptón, los nucleones faltantes se convertían en energía y podía seguir una reacción en cadena. En 1939, el físico danés Niels Bohr llevó la noticia a Estados Unidos. Su relato, junto con la publicación del artículo de Meitner-Frisch en la revista *Naturaleza*, hizo que la comunidad científica de la Costa Este ardiera de emoción. Conversaciones entre Bohr y John Archibald Wheeler en Princeton después de la Conferencia anual de Física Teórica, condujo a la teoría de la fisión nuclear de Bohr-Wheeler.

Todos los átomos de un mismo elemento tienen núcleos con el mismo número de protones, pero el número de neutrones puede variar, formando diferentes isótopos del mismo elemento. En el caso del uranio, existen dos isótopos naturales. El uranio-238 (U-238) constituye el 99,3 por ciento del uranio natural. Sus núcleos contienen 92 protones y 146 neutrones. El 0,7 por ciento restante está compuesto por uranio-235 (U-235), cuyos núcleos contienen 92 protones y 143 neutrones. La teoría de Bohr-Wheeler incorporó el hallazgo de que los neutrones de baja energía podrían causar fisión en el U-235, lo que provocaría que el átomo se dividiera y liberara energía en el proceso.

Cuando la noticia llegó a la costa oeste, Oppenheimer, ahora en Berkeley, quedó cautivado. Dio una serie de conferencias y seminarios sobre la nueva teoría y rápidamente--



La fisión nuclearde uranio-235 (U-235) se inicia cuando un neutrón golpea un núcleo U-235. El átomo de uranio se divide para formar un átomo de bario (Ba), un átomo de criptón (Kr) y tres neutrones más. Los tres neutrones pueden luego provocar la fisión en más átomos, provocando una reacción en cadena. Cada vez que un átomo se divide, se libera energía.

vio el potencial para hacer un arma de un poder increíble, en su opinión, "una forma buena, honesta y práctica" de usar la nueva ciencia. Pero mientras los laboratorios de las universidades de la Costa Este se apresuraban a replicar los resultados de los primeros experimentos de fisión, Oppenheimer se concentró en su investigación sobre las estrellas que se contraen y colapsan bajo su propia gravedad para formar agujeros negros.

nacimiento de la idea

La idea de un arma nuclear ya estaba en el aire. Ya en 1913, HG Wells escribió sobre "aprovechar la energía interna de los átomos" para fabricar "bombas atómicas". en su novela*El mundo en libertad*, la innovación estaba prevista para el año 1933. En 1933 mismo, Ernest Rutherford se refirió a la gran cantidad de energía liberada durante la fisión nuclear en un discurso impreso en

*Los tiempos*de Londres. Sin embargo, Rutherford descartó la idea de aprovechar esta energía como "aguardiente", ya que el proceso era tan ineficiente que requería mucha más energía de la que liberaba.

Le tomó a un húngaro que vivía en Gran Bretaña llamado Leó Szilárd ver cómo se podía hacer, y también darse cuenta de las horribles consecuencias para un mundo que se dirige hacia la guerra. Reflexionando sobre la conferencia de Rutherford, Szilárd vio que los "neutrones secundarios" que emergen del primer evento de fisión podrían crear más eventos de fisión, lo que resultaría en una reacción en cadena creciente de fisión nuclear. Szilárd recordó más tarde: "Había pocas dudas en mi mente de que el mundo se dirigía al dolor".

Los experimentos en Alemania y EE. UU. demostraron que la reacción en cadena era posible, lo que llevó a Szilárd y a otro emigrado húngaro, Edward Teller, a acercarse a Albert Einstein con una carta. Einstein pasó la carta al presidente estadounidense Roosevelt el 11 de octubre de 1939 y solo diez días después se creó el Comité Asesor sobre Uranio para investigar la posibilidad de desarrollar la bomba primero en los Estados Unidos.

Nacimiento de la Gran Ciencia

El Proyecto Manhattan que surgió de esta resolución fue ciencia en la mayor escala imaginable. Una organización con múltiples brazos que se extendió por varios sitios grandes en los EE. UU. y Canadá e innumerables



Hemos hecho una cosa, una mayoría arma terrible, que ha alterado abrupta y profundamente la naturaleza del mundo. Y al hacerlo hemos planteado de nuevo la cuestión de si la ciencia es buena para el hombre.

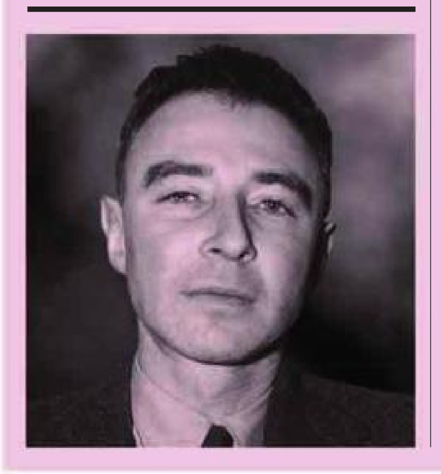
J. Robert Oppenheimer



instalaciones más pequeñas, empleó a 130,000 personas y al cierre había tragado más de US $ 2 mil millones (más de US $ 26 mil millones, o £ 16 mil millones, en dinero de 2014), todo en el más alto secreto.

A principios de 1941, se tomó la decisión de seguir cinco métodos separados para producir material fisionable para una bomba: separación electromagnética, difusión gaseosa y difusión térmica para separar los isótopos de uranio-235 de los de uranio-238; y dos líneas de investigación en

J. Robert Oppenheimer



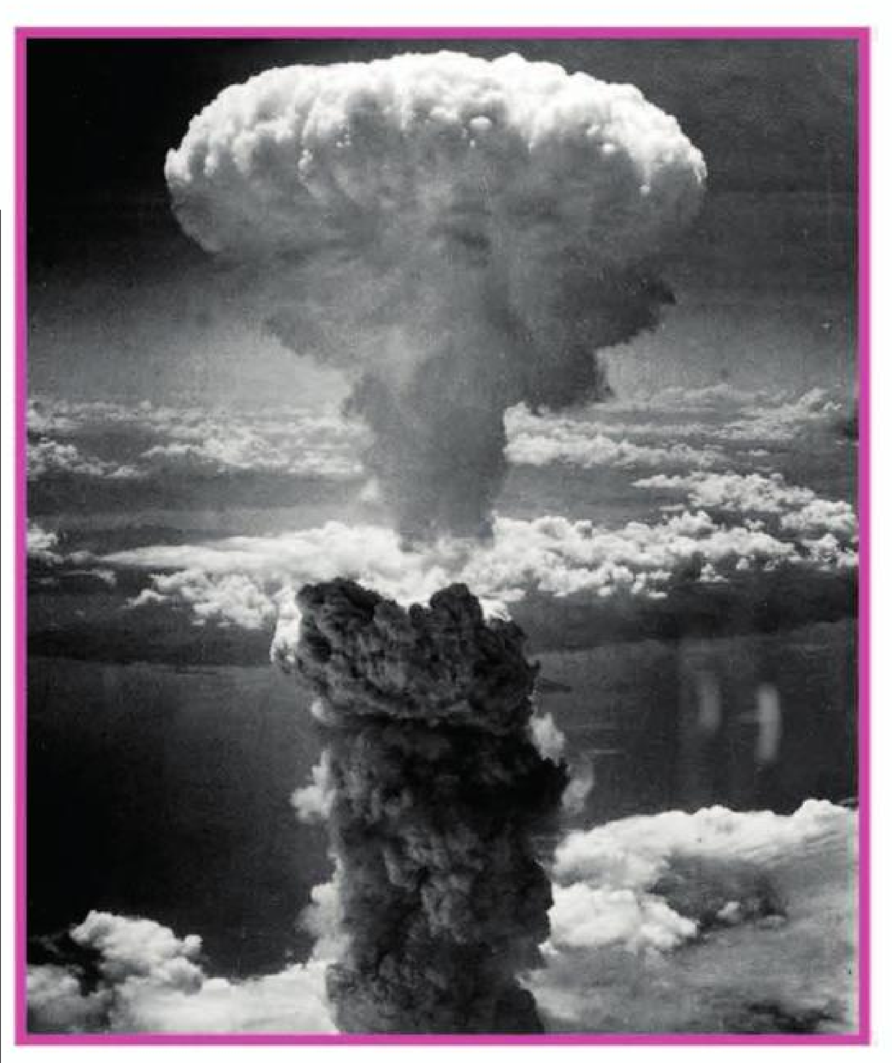
Educado en la escuela de Cultura Ética de la ciudad de Nueva York, Julius Robert Oppenheimer era un niño delgado y muy nervioso con una comprensión rápida de los conceptos. Después de graduarse de Harvard Universidad, pasó dos años en la Universidad de Cambridge con Ernest Rutherford, seguido de un traslado a Göttingen en Alemania, donde estuvo bajo el ala de Max Born.

Oppenheimer era un personaje complejo cuyo gran talento era estar en el centro de las cosas, y hacía amigos influyentes dondequiera que iba. Sin embargo, el tenía una lengua notoriamente afilada y un deseo de ser considerado como un intelecto superior. Aunque es mejor conocido por su trabajo en el Proyecto Manhattan, su contribución más duradera a la ciencia fue su investigación anterior a la guerra en la Universidad de California, Berkeley, sobre estrellas de neutrones y agujeros negros.

Trabajos clave

1927*Sobre la teoría cuántica de las moléculas*
1939*En Continuación Contracción gravitacional*

El 9 de agosto de 1945, la bomba de plutonio "Fat Man" fue lanzada sobre Nagasaki en el sur de Japón. Alrededor de 40.000 personas murieron instantáneamente y muchas más murieron en las semanas siguientes.



tecnología de reactores nucleares. El 2 de diciembre de 1942, se llevó a cabo la primera reacción en cadena controlada que involucraba fisión nuclear en una cancha de squash en la Universidad de Chicago. El Chicago Pile-1 de Enrico Fermi fue el prototipo de los reactores que enriquecerían uranio y crearían el plutonio recién descubierto, un elemento inestable que es incluso más pesado que el uranio, que también puede causar una reacción en cadena rápida y puede usarse para crear un bomba.

la montaña mágica

Seleccionado para encabezar la investigación del Proyecto Manhattan sobre armas secretas, Oppenheimer aprobó un internado en desuso en Los Alamos Ranch en Nuevo México como el sitio para las instalaciones de investigación para las etapas finales del proyecto: la construcción de una bomba atómica. El “Sitio Y” vería la mayor concentración de premios Nobel jamás reunida en un solo lugar.

Dado que gran parte de la ciencia importante ya se había realizado, muchos de los científicos de Los Álamos descartaron su trabajo en el desierto de Nuevo México como un simple "problema de ingeniería". Sin embargo, fue la coordinación de Oppenheimer de 3.000 científicos lo que hizo posible la construcción de la bomba.

Cambio de corazon

La exitosa prueba Trinity el 16 de julio de 1945 y la posterior detonación de una bomba llamada "Little Boy" sobre Hiroshima en Japón el 6 de agosto de 1945 dejó a Oppenheimer jubiloso. Sin embargo, el evento iba a arrojar una larga sombra sobre Los Director Álamos. Alemania ya se había rendido cuando se lanzó la bomba, y muchos científicos de Los Álamos sintieron que una demostración pública de la bomba era todo lo que se necesitaba: después de ver su asombroso poder, Japón seguramente se rendiría. Sin embargo, aunque algunos creían que Hiroshima era un mal necesario, la detonación de un dispositivo de plutonio llamado "Fat Man" sobre Nagasaki el 9 de agosto fue difícil de justificar.

Un año más tarde, Oppenheimer expresó públicamente su opinión de que las bombas atómicas habían sido lanzadas sobre un enemigo derrotado. En octubre de 1945, Oppenheimer se reunió con el presidente Harry S. Truman y le dijo: “Siento que tengo sangre en las manos”. Truman estaba furioso. Las audiencias del Congreso despojaron al científico de su seguridad. autorización en 1954, poniendo fin a su capacidad para influir en las políticas públicas.

Para entonces, Oppenheimer había supervisado el advenimiento del complejo militar-industrial y marcó el comienzo de una nueva era de Big Science. Al presidir la creación de un nuevo terror científico, se convirtió en un símbolo de las consecuencias morales de sus acciones que los científicos ahora deben considerar.

FUNDAMENTO

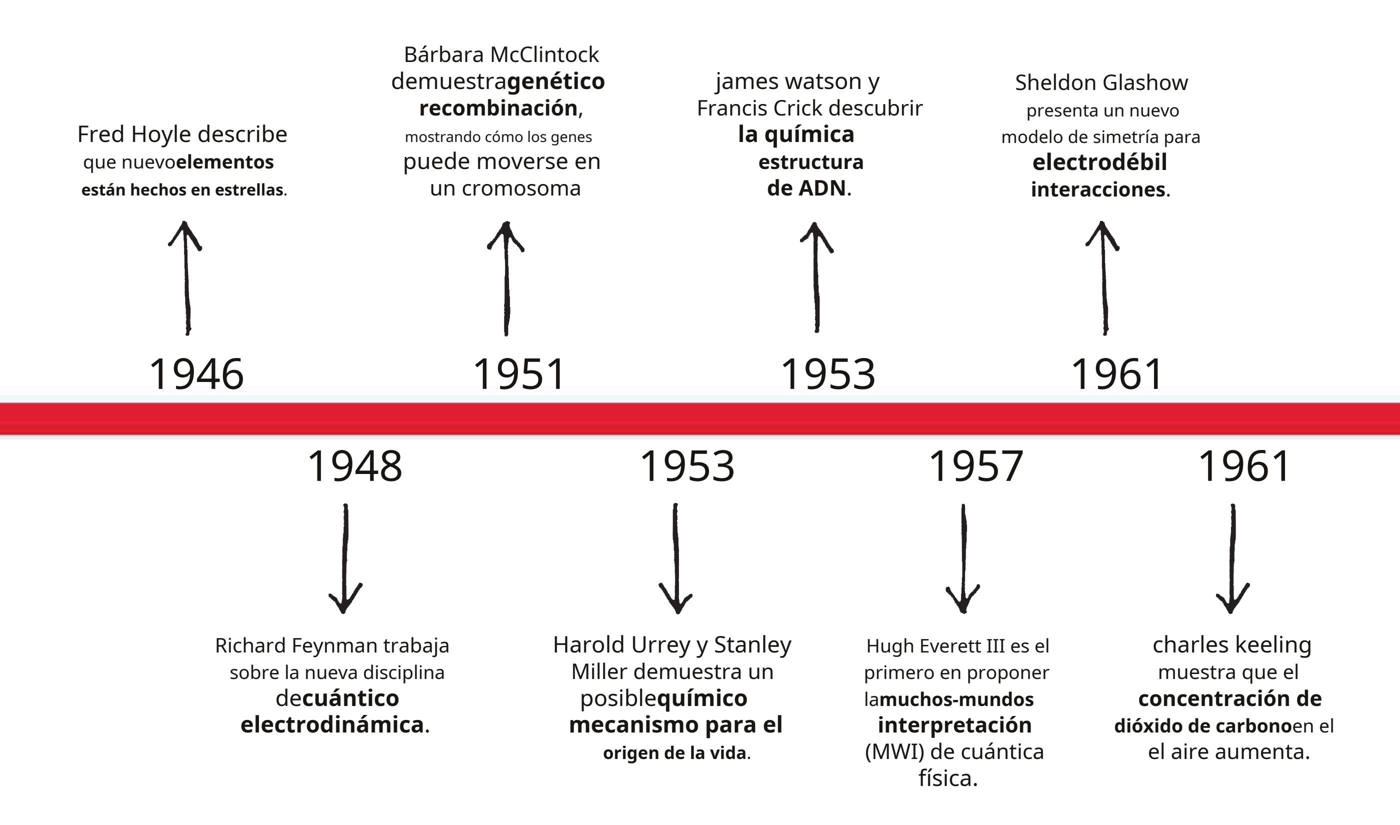
EDIFICIO

BLOQUES

1945-PRESENTE

NTAL

GRAMO



Ta segunda mitad del siglo XX vio una tecnología que mejoraba rápidamente siendo empleado en casi todos los campos de la ciencia, desde telescopios hasta análisis químico. Las nuevas tecnologías han ampliado las posibilidades de cálculo y experimentación.

Las primeras computadoras se construyeron en la década de 1940 y ha surgido una nueva ciencia, la inteligencia artificial. El Gran Colisionador de Hadrones del CERN, un acelerador de partículas, es el equipo científico más grande jamás fabricado. Potentes microscopios han permitido los primeros atisbos directos de átomos, mientras que nuevos telescopios han revelado planetas más allá de nuestro sistema solar. Para el siglo XXI, la ciencia se ha convertido en gran parte en una actividad de equipo, que involucra cada vez más

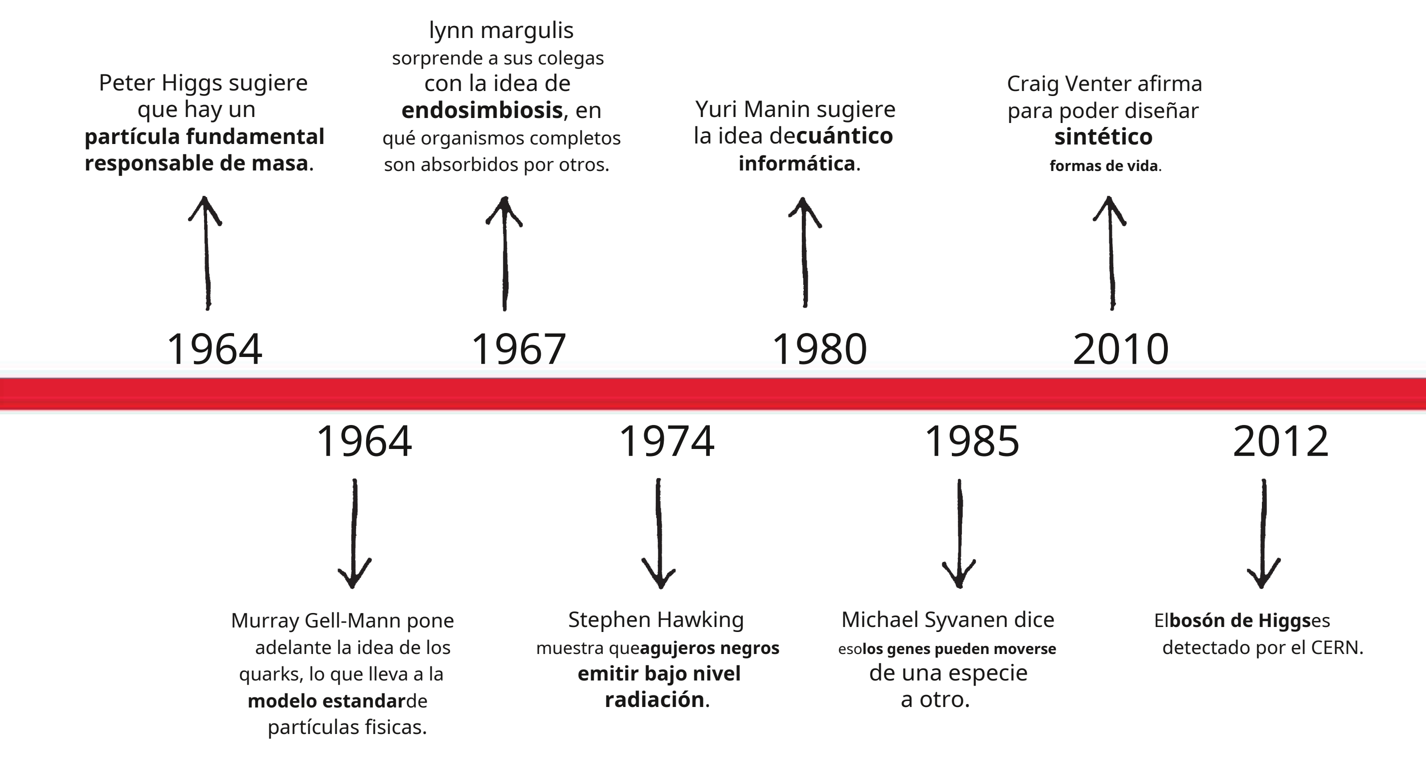
aparatos más caros y cooperación interdisciplinaria.

el codigo de la vida

En la Universidad de Chicago en 1953, los químicos estadounidenses Harold Urey y Stanley Miller realizaron un ingenioso experimento para averiguar si la vida pudo haber comenzado en la Tierra cuando un rayo provocó reacciones químicas en la atmósfera. En el mismo año, dos biólogos moleculares, el estadounidense James Watson y el británico Francis Crick, en una carrera contra equipos rivales en los EE. UU. y la Unión Soviética, descubrieron la estructura molecular del ácido desoxirribonucleico o ADN, proporcionando la clave para el código genético de vida, que llevaría menos de medio siglo después al mapeo completo del genoma humano.

Armada con nuevos conocimientos sobre el mecanismo genético, la bióloga estadounidense Lynn Margulis propuso la teoría aparentemente absurda de que algunos organismos pueden ser absorbidos por otros, mientras ambos continúan floreciendo, y que este proceso había producido las células complejas de todas las formas de vida multicelulares. Después de años de escepticismo, los descubrimientos en genética realizados 20 años después de su propuesta la reivindicaron. El microbiólogo estadounidense Michael Syvanen demostró cómo los genes pueden saltar de una especie a otra, mientras que en la década de 1990, la vieja idea lamarckiana de que las características adquiridas pueden transmitirse ganó fuerza con el descubrimiento de la epigenética. El conocimiento de los mecanismos por los cuales puede tener lugar la evolución se estaba volviendo mucho más rico.

Para fines de siglo, el estadounidense Craig Venter, recién terminado de ejecutar su propio genoma humano



proyecto, había creado vida artificial mediante la planificación de su ADN en su computadora. En Escocia, después de muchos contratiempos, Ian Wilmut y sus colegas lograron clonar una oveja.

Nuevas partículas

En física, la extrañeza de la mecánica cuántica fue explorada más a fondo por el estadounidense Richard Feynman y otros, quienes explicó las interacciones cuánticas en términos de intercambio de partículas "virtuales". Paul Dirac había predicho correctamente la existencia de antimateria en la década de 1930, y en las décadas posteriores, surgieron más partículas subatómicas nuevas de las colisiones de colisionadores de partículas cada vez más poderosos. De esta colección de partículas exóticas, surgió el modelo estándar de física de partículas, organizando las Partículas fundamentales de la naturaleza según sus propiedades. No todos los físicos estaban convencidos, pero el poder del modelo estándar recibió un gran impulso en 2012 cuando el Gran Colisionador de Hadrones del CERN detectó el bosón de Higgs que había predicho.

Mientras tanto, la búsqueda de una “teoría del todo”, una teoría que uniera las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza (gravedad, electromagnetismo y las fuerzas nucleares fuerte y débil), tomó muchas direcciones nuevas. Americano Sheldon Glashow unió el electromagnetismo con la fuerza nuclear débil en una teoría "electrodébil", mientras que la teoría de cuerdas intentó unir todas las teorías de la física en una sola proponiendo la existencia de seis dimensiones ocultas además de los tres del espacio y uno del tiempo. El físico estadounidense Hugh Everett III sugirió que puede haber una base matemática para la existencia de más de un universo. La teoría de Everett de un multiverso en constante división fue ignorada al principio, pero ha ganado adeptos en los últimos años.

Direcciones futuras

Quedan profundos acertijos por resolver, incluida una teoría elusiva que uniría la mecánica cuántica con la relatividad general. Pero También se abren posibilidades tentadoras, incluida una revolución potencial en la computación, cortesía del qubit mecánico cuántico. Es probable que surjan nuevos problemas que ni siquiera podemos imaginar.

Si la historia de la ciencia es una guía, debemos esperar lo inesperado.



ESTAMOS HECHOS DE POLVO DE ESTRELLAS

FRED HOYLE (1915-2001)

EN CONTEXTO

RAMA
Astrofísica

ANTES
1854 físico alemán Hermann von Helmholtz sugiere que el Sol genera calor a través de una lenta contracción gravitacional.

1863 El análisis del espectro de estrellas del astrónomo inglés William Huggins muestra que comparten elementos que se encuentran en la Tierra.

1905–10 Astrónomos de Estados Unidos y Suecia analizan la luminosidad de las estrellas y las agrupan en enanas y gigantes.

1920 Arthur Eddington argumenta que las estrellas convierten el hidrógeno en helio a través de la fusión nuclear.

1934 Fritz Zwicky acuña el término "supernova" para el final explosivo de una estrella masiva.

DESPUÉS
2013 Los fósiles de aguas profundas revelan lo que pueden ser rastros biológicos de hierro de una supernova.

La idea de que las estrellas generan energía a través del proceso de fusión nuclear fue propuesta por primera vez por el astrónomo británico Arthur Eddington en 1920. Argumentó que las estrellas eran fábricas para fusionar núcleos de hidrógeno en helio.

Un núcleo de helio contiene un poco menos de masa que los cuatro núcleos de hidrógeno necesarios para crearlo. Esta masa se convierte en energía de acuerdo con la ecuación $mi=mc^2$. Eddington desarrolló un modelo de estructura estelar en términos del equilibrio entre la atracción de la gravedad hacia adentro y la presión hacia afuera de la radiación que escapa, pero no descubrió la física de las reacciones nucleares involucradas.

Hacer elementos más pesados

En 1939, el físico estadounidense de origen alemán Hans Bethe publicó un análisis detallado de las diferentes vías que podría tomar la fusión del hidrógeno. Identificó dos rutas: una cadena lenta de baja temperatura que domina en estrellas como nuestro Sol, y un ciclo rápido de alta temperatura que domina en estrellas más masivas.

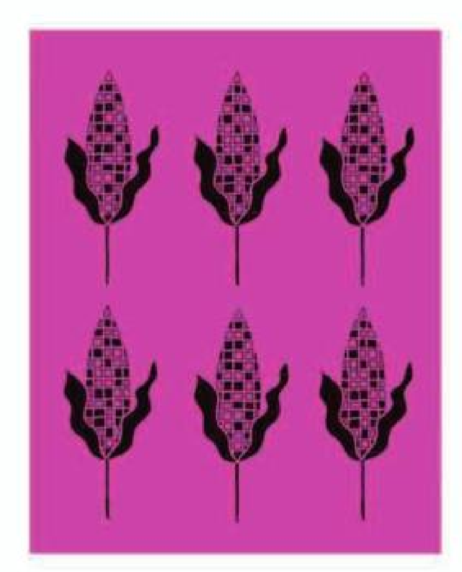
Entre 1946 y 1957, el astrónomo británico Fred Hoyle y otros desarrollaron las ideas de Bethe para mostrar cómo otras reacciones de fusión que involucran helio podrían generar carbono y elementos más pesados hasta la masa de hierro inclusive. Esto explicaba el origen de muchos de los elementos más pesados del universo. Ahora sabemos que los elementos más pesados que el hierro se forman en las explosiones de supernova, la agonía de las estrellas masivas. Los elementos necesarios para la vida están hechos en estrellas.



El espacio no es remoto en absoluto.
Está a solo una hora en coche si tu coche pudiera ir recto hacia arriba.
fred hoyle



Ver también: Marie Curie 190–95 · Albert Einstein 214–21 · Ernest Rutherford 206–13 · Georges Lemaître 242-45 · Fritz Zwicky 250–51



GENES DE SALTO

BÁRBARA McCLINTOCK (1902-1992)

EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES

1866 Gregor Mendel describe la herencia como un fenómeno determinado por "partículas", más tarde llamadas genes.

1902 Theodor Boveri y Walter Sutton concluyen de forma independiente que los cromosomas están involucrados en la herencia.

1915 Los experimentos con moscas de la fruta de Thomas Hunt Morgan confirman teorías anteriores y muestran que los genes se pueden unir en el mismo cromosoma.

DESPUÉS

1953 El modelo de doble hélice del ADN que forma los cromosomas de James Watson y Francis Crick muestra cómo se replica el material genético.

2000 Se publica el primer genoma humano, que cataloga la ubicación de 20 000 a 25 000 genes en los 23 pares de cromosomas humanos.

A principios del siglo XX, las leyes de la herencia descritas por Gregor Mendel en 1866 se refinaron a medida que se hacían nuevos descubrimientos sobre las partículas de la herencia, identificadas como genes, y los hilos microscópicos que las transportan, llamados cromosomas. En la década de 1930,
La genetista estadounidense Barbara McClintock se dio cuenta por primera vez de que los cromosomas no eran las estructuras estables imaginadas anteriormente y que la posición de los genes en los cromosomas podía alterarse.

Intercambio de genes

McClintock estaba estudiando la herencia en las plantas de maíz. Una mazorca de maíz tiene cientos de granos, cada uno de color amarillo, marrón o rayado, según los genes de la mazorca. Un grano es una semilla, una sola descendencia, por lo que estudiar muchas mazorcas brinda una variedad de datos sobre la
herencia del color del grano. McClintock combinó los experimentos de reproducción con el trabajo del microscopio en los cromosomas. En 1930 descubrió que, durante la reproducción sexual,

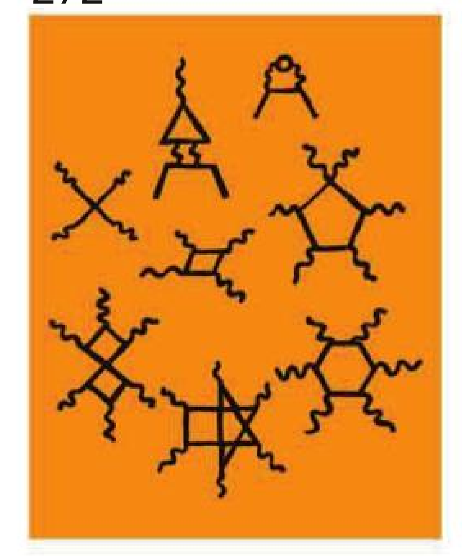


Colores variables en el maíz llevó a McClintock a rastrear las recombinaciones genéticas responsables de esta variedad, lo cual informó en 1951.

los cromosomas se emparejaron cuando se formaron las células sexuales, creando una forma de X. Se dio cuenta de que estas estructuras en forma de X marcaban lugares donde los pares de cromosomas intercambiaban segmentos. Los genes que alguna vez estuvieron unidos en el mismo cromosoma se mezclaron, lo que resultó en nuevos rasgos, incluidos colores variables.

Esta mezcla de genes, llamada recombinación genética, produce una variedad genética mucho mayor en la descendencia. Como resultado, aumentan las posibilidades de supervivencia en diferentes entornos.

Ver también: Gregor Mendel 166–71 Thomas Caza Morgan 224-25
James Watson y Francis Crick 276–83 Miguel Syvanen 318–19



EL EXTRAÑO TEORIA DE LA LUZ Y MATERIA

RICARDO FEYNMAN (1918–1988)

EN CONTEXTO

RAMA
Física

ANTES

1925 Louis de Broglie sugiere que cualquier partícula con masa puede comportarse como una onda.

1927 Werner Heisenberg muestra que existe una incertidumbre inherente en ciertos pares de valores a nivel cuántico, como la posición y el momento de una partícula.

1927 Paul Dirac aplica la mecánica cuántica a campos en lugar de partículas individuales.

DESPUÉS

finales de la década de 1950 Julian Schwinger y Sheldon Glashow desarrollan la teoría electrodébil, que une la fuerza nuclear débil con el electromagnetismo.

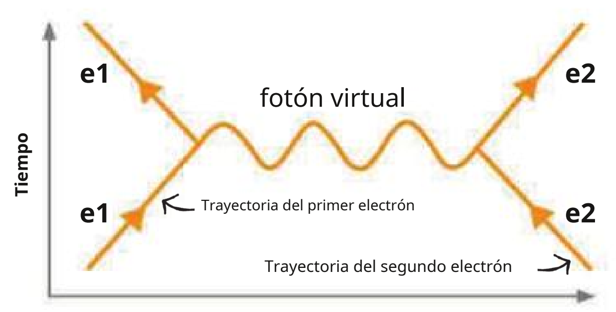
1965 Moo-Young Han, Yoichiro Nambu y Oscar Greenberg explican la interacción de las partículas bajo la fuerza fuerte en términos de una propiedad que ahora se conoce como "carga de color".

Ona de las preguntas que surgieron de la mecánica cuántica de la década de 1920 fue cómo interactuaban las partículas de materia por medio de fuerzas. El electromagnetismo también necesitaba una teoría que funcionara en la escala cuántica. La teoría que surgió, la electrodinámica cuántica (QED), explicaba la interacción de partículas a través del intercambio de electromagnetismo. Ha tenido mucho éxito, aunque uno de sus pioneros, Richard Feynman, la calificó de teoría "extraña" porque la imagen del universo que describe es difícil de visualizar.

Partículas mensajeras

Paul Dirac dio el primer paso hacia una teoría de QED basada en la idea de que los las partículas interactuaban mediante el intercambio de cuantos, o "fotones", de energía electromagnética, los mismos cuantos electromagnéticos que componen la luz. Se pueden crear fotones de la nada durante períodos muy breves de acuerdo con el principio de incertidumbre de Heisenberg, y esto permite fluctuaciones en la cantidad de energía disponible en el espacio "vacío". Estos fotones a veces se denominan partículas "virtuales", y los físicos han confirmado posteriormente su participación en el electromagnetismo. En términos más generales, las partículas mensajeras en las teorías cuánticas de campos se conocen como "bosones de calibre".

Sin embargo, hubo problemas con QED. Lo más significativo es que sus ecuaciones a menudo generaban valores infinitos sin sentido.



Diagramas de Feynman mostrar las formas en que las partículas pueden interactuar. Aquí, dos los electrones se repelen otro intercambiando un fotón virtual.

Ver también: Erwin Schrodinger 226–33 · Werner Heisenberg 234-35 · Paul Dirac 246–47 · Sheldon Glashow 292–93



Sumar probabilidades

En 1947, el físico alemán Hans Bethe sugirió una forma de arreglar las ecuaciones para que reflejaran resultados reales de laboratorio. A fines de la década de 1940, el físico japonés Sin-Itiro Tomonaga, los estadounidenses Julian Schwinger y Richard Feynman, entre otros, tomaron las ideas de Bethe y las desarrollaron para producir una versión matemática sólida de QED. Produjo resultados significativos al considerar todas las formas posibles en que podrían tener lugar las interacciones según la mecánica cuántica.

Feynman hizo accesible este tema complejo a través de su invención de los "diagramas de Feynman": representaciones pictóricas simples de posibles cambios electromagnéticos. interacciones entre partículas, que proporcionan una descripción intuitiva de los procesos en el trabajo. El avance clave fue encontrar una forma matemática de modelar una interacción como una suma de las probabilidades de cada vía individual, que incluye vías en las que las partículas se mueven hacia atrás en el tiempo. Cuando se suman, muchas de las probabilidades se cancelan entre sí: por ejemplo, la probabilidad de que una partícula viaje en una dirección particular puede ser la misma que la probabilidad de que viaje en la dirección opuesta, por lo que la suma de estas probabilidades da una suma de cero. Sumar todas las posibilidades, incluidas las "extrañas" que involucran viajes en el tiempo hacia atrás, produce resultados familiares, como que la luz parece viajar en línea recta. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, las probabilidades sumadas producen resultados extraños y los experimentos han demostrado que la luz no siempre viaja necesariamente en línea recta. Como tal, QED proporciona una descripción precisa de la realidad, incluso si se siente ajena al mundo que percibimos.

QED tuvo tanto éxito que se ha convertido en un modelo para teorías similares de otras fuerzas fundamentales: la cromodinámica cuántica (QCD) ha descrito con éxito la fuerza nuclear fuerte, mientras que las fuerzas electromagnética y nuclear débil se han unificado en una teoría de calibre electrodébil combinada. Solo la gravitación hasta ahora se niega a ajustarse a este tipo de modelo.



ricardo feynman

Nacido en Nueva York en 1918, Richard Feynman mostró talento para las matemáticas a una edad temprana y obtuvo un título en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) antes de obtener una puntuación perfecta en matemáticas y física en su examen de ingreso a Princeton. Después de recibir su doctorado en 1942, Feynman trabajó con Hans Bethe en el Proyecto Manhattan para desarrollar la bomba atómica. Tras el final de la Segunda Guerra Mundial, continuó su trabajo con Bethe en

Universidad de Cornell, donde realizó su trabajo más importante sobre QED.

Feynman mostró un don para comunicar sus ideas. Promovió el potencial de la nanotecnología y, al final de su vida, escribió relatos superventas sobre QED y otros aspectos de la física moderna.

Trabajos clave

1950 *Matemático Formulación de la Teoría Cuántica de la Interacción Electromagnética*
1985 *QED: La extraña teoría de la luz y la materia*
1985 *¿Seguramente está bromeando, Sr. Feynman?*



LA VIDA NO ES UN MILAGRO

HAROLD UREY (1893–1981)
STANLEY MILLER (1930–2007)

EN CONTEXTO

RAMA
Química

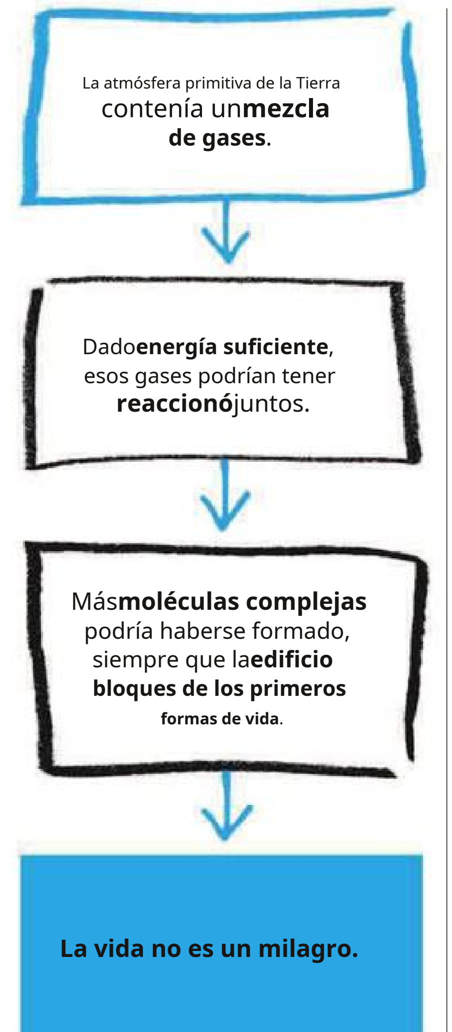
ANTES
1871 Charles Darwin sugiere que la vida podría haber comenzado en “algún pequeño estanque tibio”.

1922 El bioquímico ruso Alexander Oparin propone que los compuestos complejos podría haberse formado en una atmósfera primitiva.

1952 En los Estados Unidos, Kenneth A. Wilde pasa chispas de 600 voltios a través de una mezcla de dióxido de carbono y vapor de agua y obtiene monóxido de carbono.

DESPUÉS
1961 El bioquímico español Joan Oró añade otros posibles productos químicos a la mezcla Urey-Miller y obtiene moléculas vitales para el ADN, entre otras.

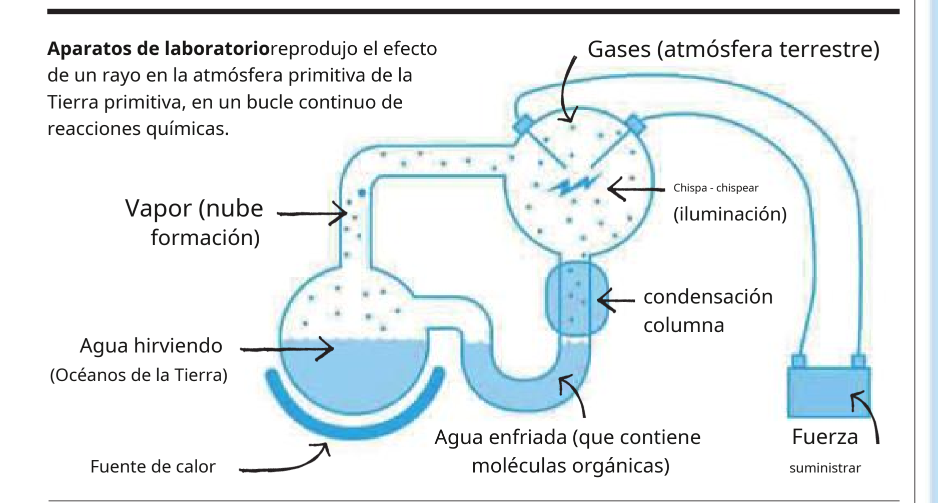
2008 El antiguo alumno de Miller, Jeffrey Bada, y otros usan herramientas más nuevas y sensibles. técnicas para obtener muchas más moléculas orgánicas.



S Los científicos han reflexionado durante mucho tiempo sobre el origen de la vida. En 1871, Charles Darwin escribió en una carta a su amigo Joseph Hooker: “Pero si... pudiéramos concebir en un pequeño estanque tibio, con todo tipo de amoníaco y sales fosfóricas, luces, calor, electricidad, etc. presentes, que un compuesto proteico fuera formado químicamente listo para sufrir cambios aún más complejos...” En 1953, el químico estadounidense Harold Urey y su estudiante Stanley Miller encontraron una manera de replicar la atmósfera primitiva de la Tierra en el laboratorio, y generaron compuestos orgánicos (basados en carbono) a partir de materia inorgánica que son esenciales a la vida.

Antes del Urey-Miller experimento, los avances en química y astronomía habían analizado las atmósferas en los otros planetas sin vida en el sistema solar. En la década de 1920, el bioquímico soviético Alexander Oparin y el genetista británico JBS Haldane sugirieron de forma independiente que si las condiciones en la Tierra prebiótica (anterior a la vida) se parecieran a las de esos planetas, entonces los químicos simples podrían haber reaccionado juntos en una sopa primordial para formar moléculas más complejas, a partir de las cuales los seres vivos podrían han evolucionado.

Ver también:Jöns Jakob Berzelius 119 Friedrich Wöhler 124–25
Charles Darwin 142–49 fred hoyle 270



Aparatos de laboratorioreprodujo el efecto de un rayo en la atmósfera primitiva de la Tierra primitiva, en un bucle continuo de reacciones químicas.

recreando la tierra atmósfera temprana

En 1953, Urey y Miller llevaron a cabo el primer experimento prolongado para probar la teoría de Oparin-Haldane. En una serie cerrada de frascos de vidrio conectados, sellados de la atmósfera, pusieron agua y una mezcla de gases que se cree que estuvieron presentes en la atmósfera primitiva de la Tierra, hidrógeno, metano y amoníaco. El agua se calentó de modo que se formó vapor de agua y se abrió camino alrededor de todos los matraces en el circuito cerrado. En uno de los matraces había un par de electrodos, entre los cuales pasaban chispas continuamente para
representan un relámpago, uno de los desencadenantes hipotéticos de las reacciones primordiales. Las chispas proporcionaron suficiente energía para romper algunas de las moléculas y generar formas altamente reactivas que reaccionarían con otras moléculas.

En un día, la mezcla se había vuelto rosa y, después de dos semanas, Urey y Miller encontraron que al menos el 10 por ciento del carbono (del metano) ahora estaba en forma de otros compuestos orgánicos. El dos por ciento del carbono había formado aminoácidos, que son los bloques de construcción de las proteínas en todos los seres vivos. Urey animó a Miller a enviar un artículo sobre el experimento a la revista.*Ciencia*, que lo publicó como “Producción de aminoácidos bajo posibles condiciones primitivas de la tierra”. El mundo ahora podía imaginar cómo el “pequeño estanque cálido” de Darwin pudo haber generado las primeras formas de vida.

En una entrevista, Miller dijo que "simplemente encender la chispa en un experimento prebiótico básico producirá aminoácidos". Más tarde, los científicos descubrieron, utilizando mejores equipos que los disponibles en 1953, que el experimento original había producido al menos 25 aminoácidos, más de los que se encuentran en la naturaleza. Dado que la atmósfera primitiva de la Tierra casi con certeza
contenía dióxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y dióxido de azufre liberados por los volcanes, bien podría haberse creado entonces una mezcla mucho más rica de compuestos orgánicos, y de hecho se formó en experimentos posteriores. Los meteoritos que contienen decenas de aminoácidos, algunos encontrados en la Tierra y otros no, también han estimulado la búsqueda de signos de vida en planetas más allá del sistema solar.

Harold Urey y stanley molinero

Harold Clayton Urey nació en Walkerton, IN. Su trabajo sobre la separación de isótopos condujo al descubrimiento del deuterio, que le valió el Premio Nobel de Química en 1934. Luego desarrolló el enriquecimiento de uranio-235 por gas
difusión que fue crucial para el Proyecto Manhattan
Desarrollo de la primera bomba atómica. Después de sus experimentos prebióticos con Stanley Miller en Chicago, se mudó a San Diego y estudió las rocas lunares traídas por el Apolo 11.

Stanley Lloyd Miller nació en Oakland, CA. Después de estudiar química en la Universidad de California en Berkeley, fue asistente de enseñanza en la Universidad de Chicago y trabajó con Urey.
Más tarde, se convirtió en profesor en San Diego.

Obra clave

1953*Producción de Aminoácidos bajo Posibles Condiciones Primitivas de la Tierra*



Mi estudio [del universo] deja pocas dudas de que la vida tiene ocurrió en otros planetas. Dudo que la raza humana sea la forma de vida más inteligente.

Harold C.Urey



QUEREMOS SUGERIR UN ESTRUCTURA POR LA SAL DE DESOXIRIBOSA ÁCIDO NUCLEICO (ADN)

JAMES WATSON (1928–)

FRANCISCO CRICK (1916–2004)



EN CONTEXTO

RAMA
Biología

ANTES

1869 Friedrich Miescher identifica por primera vez el ADN en las células sanguíneas.

1920 Phoebus Levene y otros analizan los componentes del ADN como azúcares, fosfatos y cuatro tipos de bases.

1944 Los experimentos muestran que el ADN es un portador de datos genéticos.

1951 Linus Pauling propone la estructura de hélice alfa para ciertas moléculas biológicas.

DESPUÉS

1963 Federico Sanger desarrolla métodos de secuenciación para identificar bases a lo largo del ADN.

1960 El código del ADN está descifrado: tres bases de código de ADN para cada aminoácido en una proteína.

2010 Craig Venter y su equipo implantan ADN creado artificialmente en una bacteria viva.

En abril de 1953, la respuesta a un misterio fundamental sobre los organismos vivos apareció en un breve artículo publicado sin estridencias en la revista científica, *Naturaleza*. El artículo explicaba cómo se mantienen las instrucciones genéticas dentro de los organismos y cómo se transmiten a la siguiente generación. Crucialmente, describió, por primera vez, la doble hélice
estructura del ácido nucleico desoxirribosa (ADN), la molécula que contiene la información genética.

El artículo fue escrito por James Watson, un biólogo estadounidense de 29 años, y su colega de investigación británico mayor, el biofísico Francis Crick. Desde 1951, habían estado trabajando juntos



Tan hermoso que tiene que ser verdad.
james watson



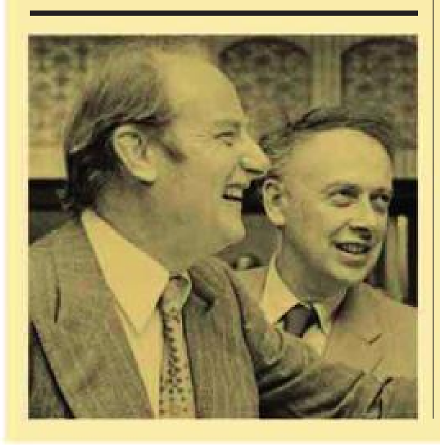
sobre el desafío de la estructura del ADN en el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge, bajo la dirección de su director, Sir Lawrence Bragg.

El ADN era el tema candente del día, y la comprensión de su estructura parecía tan tentadoramente al alcance de la mano que, a principios de la década de 1950, equipos de Europa, EE. forma dimensional: el elusivo modelo que permitía que el ADN transportara simultáneamente datos genéticos en algún tipo de forma codificada químicamente, y que se replicara a sí mismo de forma completa y precisa, de modo que los mismos datos genéticos se transmitieran a la descendencia o células hijas, incluidas las de la siguiente generación.

El pasado en el ADN

La molécula de ADN no se descubrió en 1953, como suele pensarse popularmente, ni fueron Crick y Watson los primeros en descubrir de qué estaba hecha. El ADN tiene una historia de investigación mucho más larga. En la década de 1880, el biólogo alemán Walther Flemming informó que los cuerpos similares a "X" (más tarde llamados cromosomas) aparecieron dentro de las células cuando las células

james watson y francisco crick



James Watson (a la derecha) nació en 1928 en Chicago, IL.
A la temprana edad de 15 años ingresó a la Universidad de Chicago. Después de un posgrado en genética, Watson se mudó a
Cambridge, Inglaterra, para formar equipo con Francis Crick. Más tarde regresó a los Estados Unidos para trabajar en el Laboratorio Cold Spring Harbor en Nueva York. A partir de 1988, trabajó en el Proyecto Genoma Humano, pero se fue después de un desacuerdo sobre la patente de los datos genéticos.

Francis Crick nació en 1916 cerca de Northampton en Gran Bretaña. Desarrolló minas antisubmarinas Durante la Segunda Guerra Mundial. En 1947 fue a Cambridge a estudiar biología y aquí comenzó a trabajar con James Watson. Más tarde, Crick se hizo conocido por el "dogma central": que los datos genéticos fluyen en las células esencialmente de una manera. Posteriormente, Crick se dedicó a la investigación del cerebro y desarrolló una teoría de la conciencia.

Trabajos clave

1953*Estructura molecular de los ácidos nucleicos: una estructura para el ácido nucleico desoxirribosa* **1968***La doble hélice*

IN CONTEXT

BRANCH
Biology

BEFORE
1869 Friedrich Miescher first identifies DNA, in blood cells.

1920s Phoebus Levene and others analyze the components of DNA as sugars, phosphates, and four types of base.

1944 Experiments show DNA to be a carrier of genetic data.

1951 Linus Pauling proposes the alpha-helix structure for certain biological molecules.

AFTER
1963 Frederick Sanger develops sequencing methods to identify bases along DNA.

1960s DNA's code is cracked: three DNA bases of code for each amino acid in a protein.

2010 Craig Venter and his team implant artificially made DNA into a living bacterium.

In April 1953, the answer to a fundamental mystery about living organisms appeared in a short article published without fanfare in the scientific journal, *Nature*. The article explained both how genetic instructions are held inside organisms and how they are passed on to the next generation. Crucially, it described, for the first time, the double-helix structure of deoxyribose nucleic acid (DNA), the molecule that contains the genetic information.

The article was written by James Watson, a 29-year-old American biologist, and his older British research colleague, biophysicist Francis Crick. Since 1951, they had jointly been working on the challenge of DNA's structure at the Cavendish Laboratory, University of Cambridge, under its director, Sir Lawrence Bragg.

DNA was the hot topic of the day, and an understanding of its structure seemed so tantalizingly within reach that by the early 1950s, teams in Europe, the US, and the Soviet Union were vying to be the first to "crack" DNA's three-dimensional shape—the elusive model that allowed DNA simultaneously to carry genetic data in some kind of chemically coded form, and to replicate itself completely and accurately, so that the same genetic data was passed to offspring, or daughter cells, including those of the next generation.



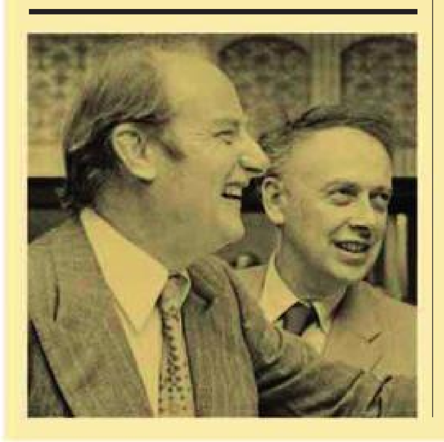
So beautiful it has to be true.
James Watson



The past in DNA

The DNA molecule was not discovered in 1953, as is often popularly thought, nor were Crick and Watson the first to find out what it was made from. DNA has a much longer history of research. In the 1880s, the German biologist Walther Flemming had reported that "X"-like bodies (later named chromosomes) appeared inside cells as the cells

James Watson and Francis Crick



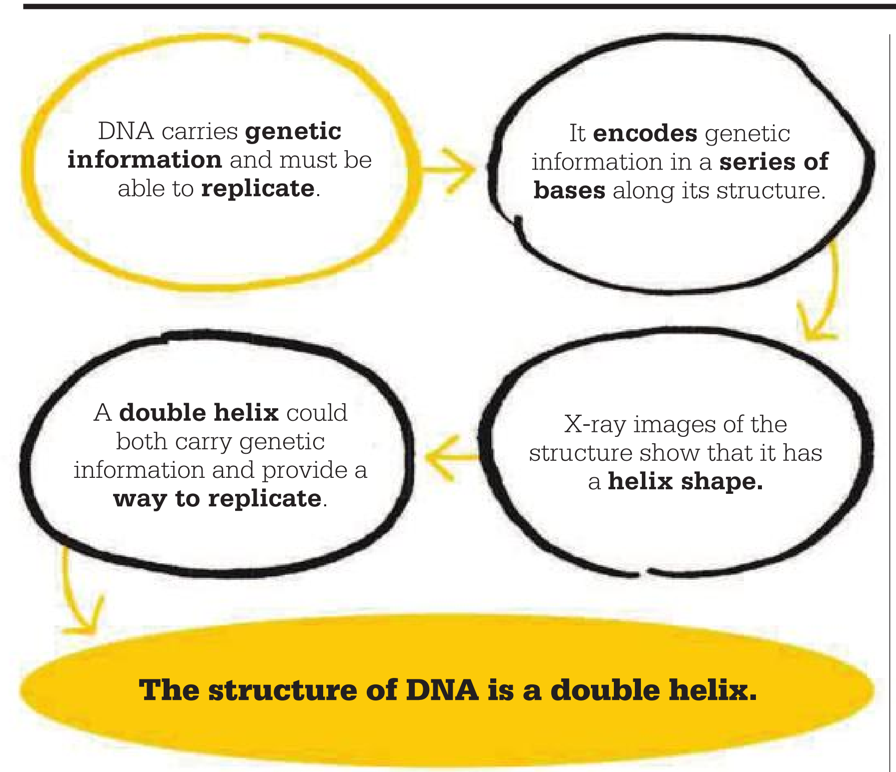
James Watson (on the right) was born in 1928 in Chicago, IL. At the precocious age of 15 he entered the University of Chicago. After postgraduate study in genetics, Watson moved to Cambridge, England, to team up with Francis Crick. He later returned to the US to work at the Cold Spring Harbor Laboratory in New York. From 1988, he worked on the Human Genome Project, but left after a disagreement over patenting genetic data.

Francis Crick was born in 1916 near Northampton in Britain. He developed antisubmarine mines during World War II. In 1947, he went to Cambridge to study biology and here began work with James Watson. Later, Crick became known for the "central dogma": that genetic data flow in cells in essentially one way. In later life, Crick turned to brain research and developed a theory of consciousness.

Key works

1953 *Molecular Structure of Nucleic Acids: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid*
1968 *The Double Helix*

See also: Charles Darwin 142–49 ▪ Gregor Mendel 166–71 ▪ Thomas Hunt Morgan 224–25 ▪ Barbara McClintock 271 ▪ Linus Pauling 254–59 ▪ Craig Venter 324–25



were preparing to divide. In 1900, Gregor Mendel's experiments with heredity in pea plants were rediscovered—Mendel had been the first to suggest that there were units of heredity that came in pairs (which would later be called genes). At about the same time as Mendel was being rediscovered, breeding experiments by American physician Walter Sutton and, independently, by German biologist Theodor Boveri revealed that sets of chromosomes (the rod-shaped structures that carry genes) pass from a dividing cell to each of its daughter cells. The ensuing Sutton–Boveri theory proposed that chromosomes are the carriers of genetic material.

Soon, more scientists were investigating these mysterious X-shaped bodies. In 1915, American biologist Thomas Hunt Morgan showed that chromosomes were indeed the carriers of hereditary information. The next step was to look at the constituent molecules of chromosomes—molecules that might be candidates for genes.

New pairs of genes

In the 1920s, two types of candidate molecules were discovered: proteins called histones, and nucleic acids, which had been described chemically in 1869 as *nuclein* by Swiss biologist Friedrich Miescher. The Russian-American biochemist Phoebus Levene and others gradually identified the main ingredients of DNA in increasing detail as nucleotide units, each made up of a deoxyribose sugar, a phosphate, and one of four subunits called bases. By the end of the 1940s, the basic formula of DNA as a giant polymer—a huge molecule consisting of repeating units, or monomers—was clear. By 1952, experiments with bacteria had shown that DNA itself, and not its rival candidates, the proteins inside chromosomes, was the physical embodiment of genetic information.

Tricky research tools

The competing researchers were using several advanced research tools, including X-ray diffraction crystallography, in which X-rays were passed through a substance's crystals. A crystal's unique geometry in terms of its atomic content made the X-ray beams diffract, or bend, as they passed through. The resulting diffraction patterns of spots, lines, and blurs were captured on photographic film. Working backward from those patterns, it was possible to figure out the structural details within the crystal. This was not an easy task. X-ray crystallography has been »



It is one of the more striking generalizations of biochemistry…that the twenty amino acids and the four bases, are, with minor reservations, the same throughout Nature.

Francis Crick

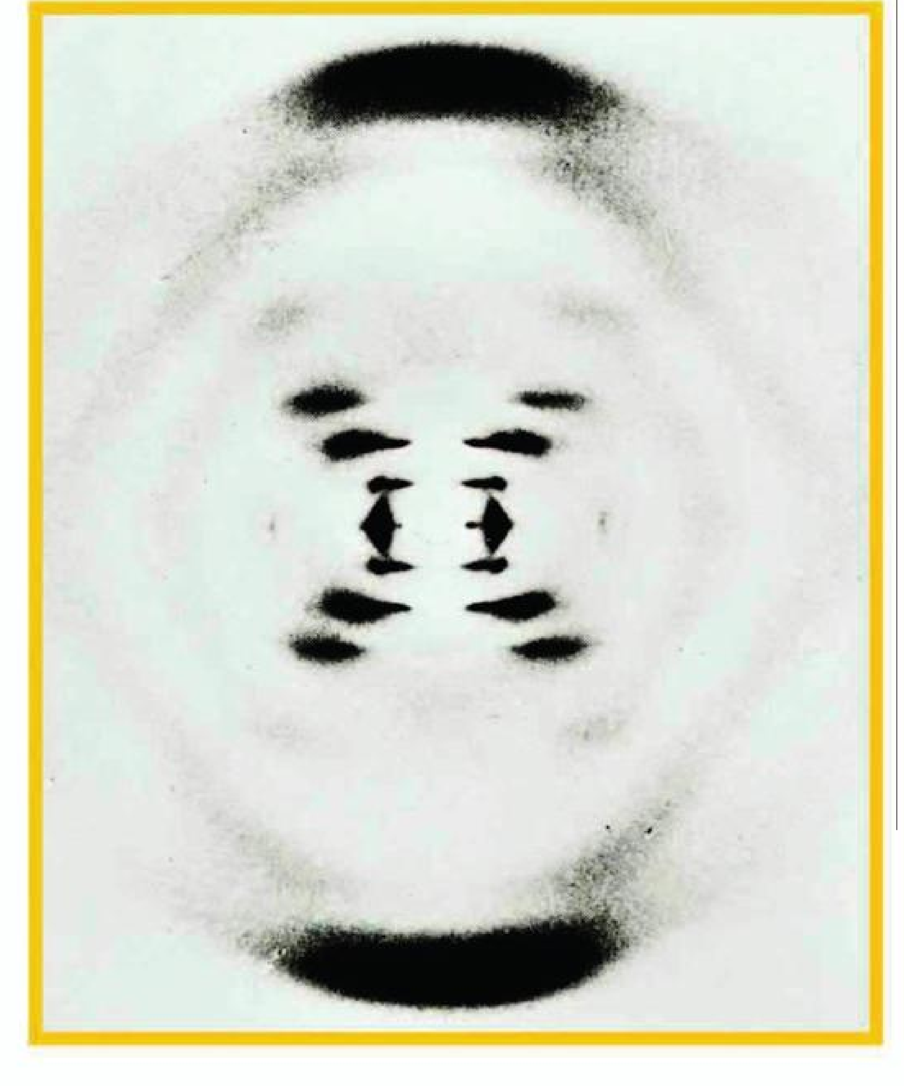


likened to studying the myriad light patterns cast by a crystal chandelier on the ceiling and walls of a large room, and using them to figure out the shapes and positions of each piece of glass in the chandelier.

Pauling in the lead

The British research team at the Cavendish Laboratory was eager to beat the American researchers, led by Linus Pauling. In 1951, Pauling and his colleagues Robert Corey and Herman Branson had already achieved a breakthrough in molecular biology when they correctly proposed that many biological molecules—including hemoglobin, the oxygen-carrying substance in blood—have a corkscrew-like helix shape. Pauling named this molecular model the alpha-helix.

Pauling's breakthrough had narrowly beaten the Cavendish Laboratory and it looked as though the precise shape of DNA's structure was within his grasp. Then, early in 1953, Pauling proposed that the structure of DNA was in the form of a triple helix.



By this time, James Watson was working at the Cavendish Laboratory. He was only 25 years old, but he had the enthusiasm of youth and two degrees in zoology, and had studied the genes and nucleic acids of bacteriophages—the viruses that infect bacteria. Crick, 37 years old, was a biophysicist with an interest in the brain and neuroscience. He had studied proteins, nucleic acids, and other giant molecules in living things. He had also observed the Cavendish team racing to beat Pauling to the alpha-helix idea, and later analyzed their mistaken suppositions and dead-end exploratory efforts.

Both Watson and Crick also had experience of X-ray crystallography, albeit in different areas, and together they soon began musing on two questions that fascinated them both: how does DNA as a physical molecule encode genetic information, and how is this information translated into the parts of a living system?

Crucial crystal pictures

Watson and Crick knew of Pauling's success with the alpha-helix model of proteins, in which the molecule twisted along a single corkscrew path, repeating its main structure every 3.6 turns. They also knew that the latest research evidence did not seem to support Pauling's triple helix model for DNA. This led them to wonder whether the elusive model was one that was neither a single nor a triple helix. The two conducted hardly any experiments

This X-ray diffraction photograph of DNA was obtained by Rosalind Franklin in 1953, and was the biggest clue to cracking DNA. The helical structure of DNA was ascertained from the pattern of spots and bands.

themselves. Instead they collected data from others, including the results of chemical experiments that gave information about the angles of the links, or bonds, between the various ingredient atoms and subgroups of DNA. They also pooled their joint knowledge of X-ray crystallography and approached those researchers who had made the highest-quality images of DNA and other similar molecules. One such image was "photo 51," which became key to their achieving their breakthrough.

Photo 51 was an X-ray diffraction image of DNA that resembled an "X" seen through the slats of a Venetian blind—fuzzy to our eyes, but at that time, among the sharpest and most informative of DNA's X-ray pictures. Some debate surrounds the identity of the photographer who took this historic picture. It came from the laboratory of a British biophysicist named Rosalind Franklin, an expert in X-ray crystallography, and her graduate student Raymond Gosling, at King's College, London. Each has been credited with the image at various times.

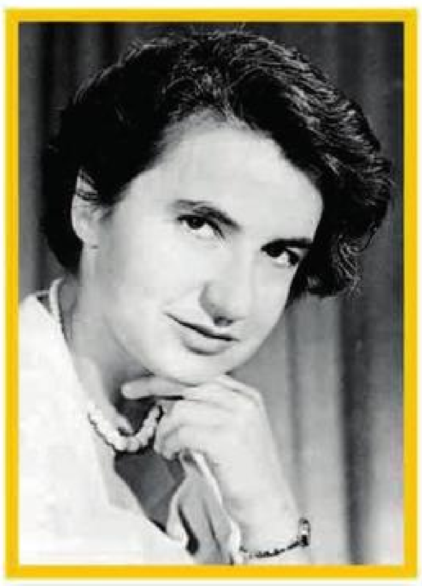
Cardboard models

Also working at King's was Maurice Wilkins, a physicist who was interested in molecular biology.



We have discovered the secret of life.
Francis Crick





Rosalind Franklin's draft reports on her theoretical models for DNA's structure were key to Watson and Crick's discovery of the double helix, but she received little recognition in her lifetime.

In early 1953, in what was perhaps a break with scientific protocol, Wilkins showed the images taken by Franklin and Gosling, without their permission or knowledge, to James Watson. The American immediately recognized their significance, and took the implications straight back to Crick. Suddenly their work was on the right path.

From this point, the exact sequence of events becomes unclear, and later accounts of the discovery are conflicting. Franklin had described in unpublished draft reports her thoughts about the structure and shape of DNA. These were also incorporated by Watson and Crick as they struggled with their various proposals. The main idea, derived from Pauling's alpha-helix model and supported by Wilkins, centered on some form of repeating helical pattern for the giant molecule.

One of Franklin's considerations was whether the structural "backbone," a chain of phosphate and deoxyribose sugar subunits, was in the center with the bases projecting outward, or the other way around. Another colleague who provided help was Austrian-born British biologist Max Perutz, who would win the Nobel prize in Chemistry in 1962 for his work on the structure of hemoglobin and other proteins. Perutz also had access to Franklin's unpublished reports and passed them on to the ever-networking Watson and Crick. They pursued the idea that DNA's backbones were on the outside, with the bases pointing inward and perhaps connecting to each other in pairs. They cut out and shuffled around cardboard shapes that represented these molecular subunits: phosphates and sugars in the backbone, and the four types of base—adenine, thymine, guanine, and cytosine.

In 1952, Watson and Crick had met Erwin Chargaff, an Austrian-born biochemist, who had devised what became known as Chargaff's first rule. This stated that in DNA, the amounts of guanine and cytosine are equal, as are the amounts of adenine and thymine. Experiments had sometimes shown that all four amounts were roughly equal, and sometimes not. The latter findings came to be seen as errors in methodology, and equal amounts of all four bases came to be accepted as the rule of thumb.

Making the pieces fit

By splitting the base quantities into two sets of pairs, Chargaff had shed light on the structure of DNA. Watson and Crick now began to think of adenine as only and always linking to thymine, and guanine to cytosine. »



These are human male chromosomes. Before Crick and Watson's discovery, it had been known that chromosomes carry genes that pass from a dividing cell to a daughter cell.

In assembling the cardboard pieces for their 3-D jigsaw, Watson and Crick were juggling a vast amount of data, working from mathematics, X-ray images, their own knowledge of chemical bonds and their angles, and other data—all approximate and subject to ranges of errors. Their final breakthrough came when they realized that making slight adjustments to the configurations of thymine and guanine allowed the pieces to fit together, producing an elegant double helix in which the pairs of bases linked along the middle. Unlike the protein alpha-helix, which had 3.6 subunits in one complete turn, DNA had about 10.4 subunits per turn.

The model that Watson and Crick described consisted of two helical or corkscrew phosphate-sugar backbones curling around each other, like the uprights of a "twisted ladder," connected by pairs of bases serving as rungs. The sequence of bases worked like letters in a sentence, carrying small units of information that combined to make an overall instruction, or gene—which in turn told the cell how to make the particular protein or other molecule that was the physical manifestation of the genetic data and had a particular role in the cell's fabric and function.

Zip and unzip

Each pair of bases is connected by what chemists call hydrogen bonds. These are made and broken relatively easily, so the sections of the double-helix can be "unzipped" by undoing the bonds, which then exposes the code of bases as a template for making a copy.

This zip-unzip allowed two processes to occur. First, a mirror complementary copy of nucleic acid could be made from one unzipped

half of the double helix; then, carrying its genetic information as the sequence of bases, it would leave the cell nucleus to become involved in the protein production.

Second, when the whole length of the double helix was unzipped, each part would act as a template to build a new complementary partner—resulting in two lengths of DNA that were identical to the original and to each other. In this way, DNA was copied as cells divided into two for growth and repair throughout an organism's life—and as sperm and eggs, the sex cells, carried their quotient of the genes to make a fertilized egg, so beginning the next generation.

"Secret of life"

On February 28, 1953, elated by their discovery, Watson and Crick went for lunch to The Eagle, one of Cambridge's oldest inns, where colleagues from the Cavendish and other laboratories often met. Crick is said to have startled drinkers by announcing that he and Watson had discovered "the secret of life"—or so Watson later recalled in his book, *The Double Helix*, though Crick denied this really happened.

In 1962, Watson, Crick, and Wilkins were awarded the Nobel Prize in Physiology or Medicine "for their discoveries concerning the molecular structure of nucleic acids and its significance for information transfer in living material." The award, however, was surrounded in controversy. In the preceding years, Rosalind Franklin had received little official credit for producing the key X-ray images and for writing the reports that helped to direct Watson and Crick's research. She died of ovarian cancer in 1958, at only 37, and was therefore ineligible for the Nobel Prize in 1962, since the prizes are not awarded posthumously. Some said the award should have been made earlier, with Franklin as one of the co-recipients, but the rules allow a maximum of three.



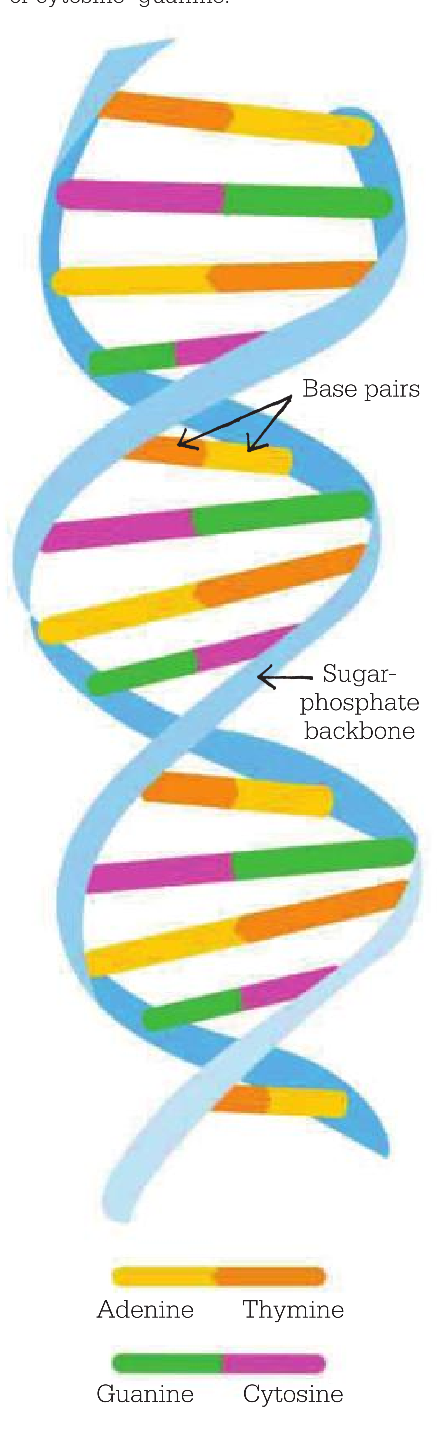
I never dreamed that in my lifetime my own genome would be sequenced.
James Watson



Following their momentous work, Watson and Crick became world celebrities. They continued their research in molecular biology and received great numbers of awards and honors. Now that the structure of DNA was known, the next big challenge was to solve the genetic "code." By 1964, scientists figured out how sequences of its bases were translated into the amino acids that make up specific proteins and other molecules that are the building blocks of life.

Today, scientists can identify base sequences for all the genes of an organism, collectively known as its genome. They can manipulate DNA to move genes around, delete them from specific lengths of DNA, and insert them into others. In 2003, the Human Genome Project, the largest international biological research project ever, announced that it had completed the mapping of the human genome—a sequence of more than 20,000 genes. Crick and Watson's discovery had paved the way for genetic engineering and gene therapy. ■

A DNA molecule is a double helix formed by base pairs attached to a backbone made of sugar-phosphates. The base pairs always match up in combinations of either adenine–thymine or cytosine–guanine.





EVERYTHING THAT CAN HAPPEN HAPPENS

HUGH EVERETT III (1930–1982)

IN CONTEXT

BRANCH
Physics and cosmology

BEFORE
1600 Italian philosopher Giordano Bruno is burned at the stake for his belief in an infinity of inhabited worlds.

1924–27 Niels Bohr and Werner Heisenberg seek to resolve the measurement paradox of wave-particle duality by invoking a wave function collapse.

AFTER
1980s A principle known as decoherence attempts to provide a mechanism by which the many-worlds interpretation may work.

2000s Swedish cosmologist Max Tegmark describes an infinity of universes.

2000s In quantum computer theory, computational power is sourced from superpositions that are not in our universe.

A card finely balanced on its edge will fall **faceup or facedown**.

Quantum theory allows **both outcomes to happen**. So each card fall results in its own possible world.

Repeat the experiment four times and we have created **16 parallel worlds** (2 × 2 × 2 × 2).

A quantum theory in which nature does not decide between outcomes is **consistent with observation**.

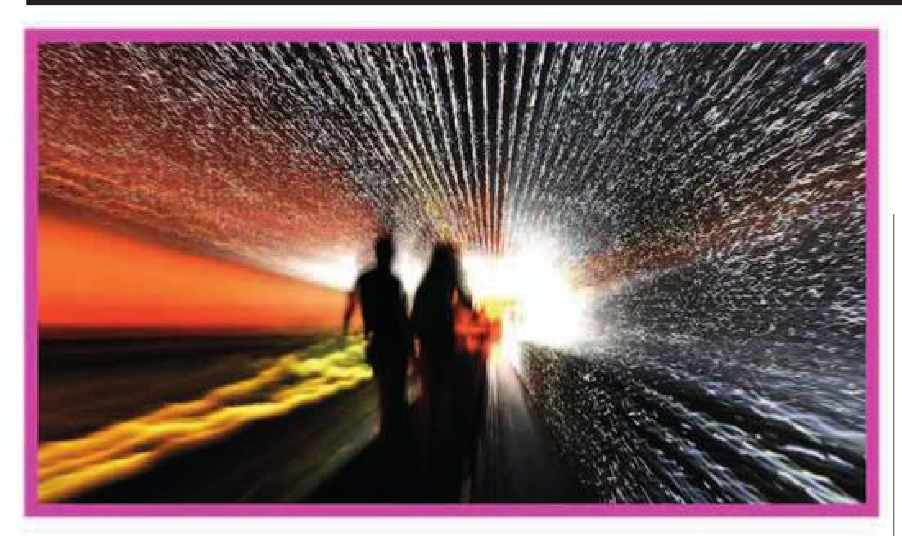
Everything that can happen happens.

Hugh Everett III is a cult figure to sci-fi enthusiasts because his many-worlds interpretation (MWI) of quantum mechanics changed scientists' ideas about the nature of reality.

Everett's work was inspired by the embarrassing flaw at the heart of quantum mechanics. Although it can explain interactions at the most fundamental level of matter, quantum mechanics also produces bizarre results that seem to be at odds with experiment, a dichotomy at the heart of the measurement paradox (pp.232–33).

In the quantum world, subatomic particles are allowed to exist in any number of possible states of location, velocity, and spin, or "superpositions," as described by Erwin Schrödinger's wave function, but the phenomenon of many possibilities disappears as

See also: Max Planck 202–05 ▪ Werner Heisenberg 234–35 ▪ Erwin Schrödinger 226–33



"Multiverse" is an installation of 41,000 LED lights at the National Gallery of Art in Washington DC. It was inspired by the many-worlds interpretation.

soon as it is observed. The very act of measuring a quantum system seems to "shunt" it into one state or another, forcing it to "choose" its option. In the world we're familiar with, a coin toss results in a definite heads or tails, and not one, the other, and both at once.

Copenhagen fudge

In the 1920s, Niels Bohr and Werner Heisenberg attempted to sidestep the measurement problem with what became known as the Copenhagen interpretation. It holds that the act of making an observation on a quantum system causes the wave function to "collapse" into the single outcome. Although this remains a widely accepted interpretation, many theorists find it unsatisfactory since it reveals nothing about the mechanism of wave function collapse. This bothered Schrödinger, too. For him, any mathematical formulation of the world had to have an objective reality. As Irish physicist John Bell put it, "Either the wave function, as given by the Schrödinger equation, is not everything, or is not right."

Many worlds

Everett's idea was to explain what happens to the quantum superpositions. He presumed the objective reality of the wave function and removed the (unobserved) collapse—why should nature "choose" a particular version of reality every time someone makes a measurement? He then asked another question: what then happens to the various options available to quantum systems?

The MWI says that all possibilities do, in fact, occur. Reality peels itself, or splits, into new worlds, but since we inhabit a world where only one outcome occurs, this is what we see. Other possible outcomes are inaccessible to us, since there can be no interference between worlds and we are fooled into thinking that something is lost every time we measure something.

While Everett's theory is not accepted by all, it removes a theoretical block to interpreting quantum mechanics. MWI does not mention parallel universes, but they are its logical prediction. It has been criticized for being untestable, but this may change. An effect known as "decoherence"—whereby quantum objects "leak" their superposition information—is a mechanism by which MWI might be proved to work. ■

Hugh Everett III

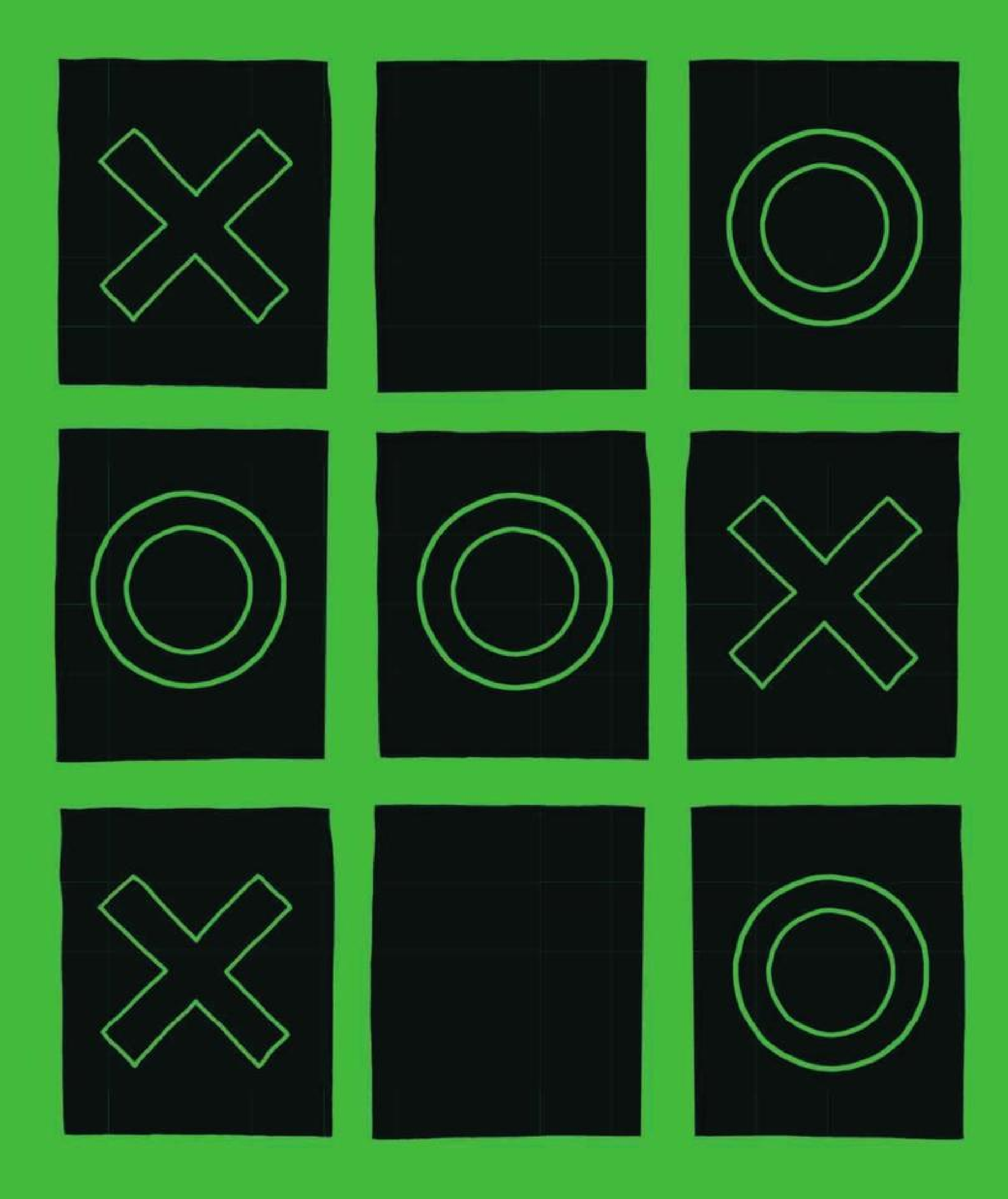
Born in Washington DC, Hugh Everett was a precocious boy. At 12, he wrote to Einstein asking what held the universe together. While he was studying mathematics at Princeton, he drifted into physics. MWI—his answer to the riddle at the heart of quantum mechanics—was the subject of his PhD in 1957, and led to him being pilloried for proposing multiple universes. A trip to Copenhagen in 1959 to discuss the idea with Niels Bohr was a disaster—Bohr rejected everything that Everett said. Discouraged, he left physics for the US defense industry, but today MWI is regarded as a mainstream interpretation of quantum theory—too late for Everett, an alcoholic, who died at just 51. A lifelong atheist, he asked for his ashes to be thrown out with the trash.

Key works

1956 *Wave Mechanics Without Probability*
1956 *The Theory of the Universal Wave Function*

A PERFECT GAME OF TIC-TAC-TOE

DONALD MICHIE (1923–2007)



IN CONTEXT

BRANCH
Artificial intelligence

BEFORE
1950 Alan Turing suggests a test to measure machine intelligence (the Turing Test).

1955 American programmer Arthur Samuel improves his program to play tic-tac-toe by writing one that learns to play.

1956 The term "artificial intelligence" is coined by American John McCarthy.

1960 American psychologist Frank Rosenblatt makes a computer with neural networks that learn from experience.

AFTER
1968 MacHack, the first chess program to achieve a good level of skill, is created by American Richard Greenblatt.

1997 World chess champion Garry Kasparov is defeated by IBM's Deep Blue computer.

Computers in 1961 were mostly mainframes the size of a room. Minicomputers would not arrive until 1965 and microchips as we know them today were several years in the future. With computer hardware so huge and specialized, British research scientist Donald Michie decided to use simple physical objects for a small project on machine learning and artificial intelligence— matchboxes and glass beads. He selected a simple task, too—the game of tic-tac-toe, also known as noughts-and-crosses. Or, as Michie called it "tit-tat-to." The result was the Matchbox Educable Noughts And Crosses Engine (MENACE).

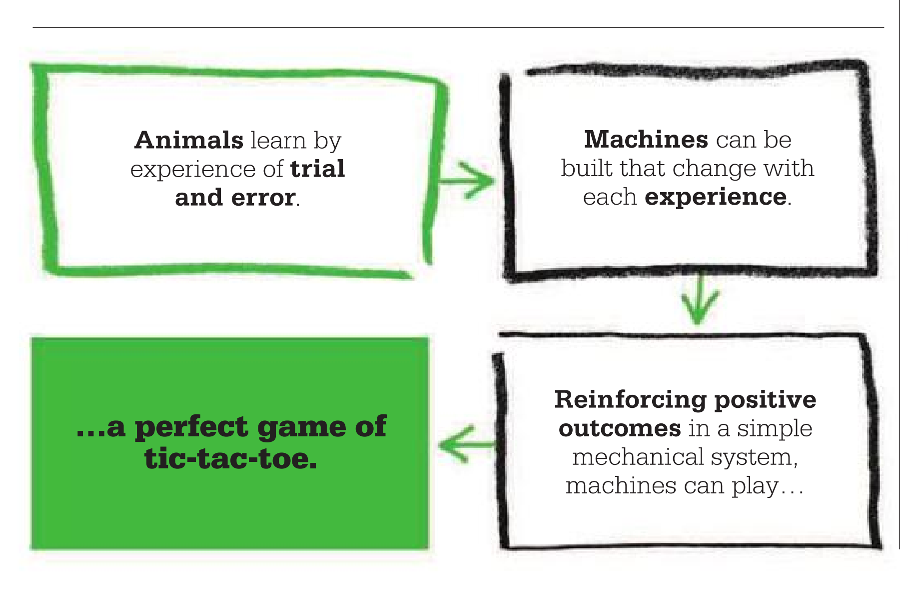
Michie's main version of MENACE comprised 304 matchboxes glued together in a chest-of-drawers arrangement. A code number on each box was keyed into a chart. The chart showed drawings of the 3x3 game grid with various arrangements of Os and Xs, corresponding to possible layout permutations as the game progressed. There are actually 19,683 possible layout combinations but some can be rotated to give others, and some are mirror images of, or symmetrical to, each other. This made 304 permutations an adequate working number.



Can machines think? The short answer is "Yes: there are machines which can do what we would call thinking, if it were done by a human being."
Donald Michie



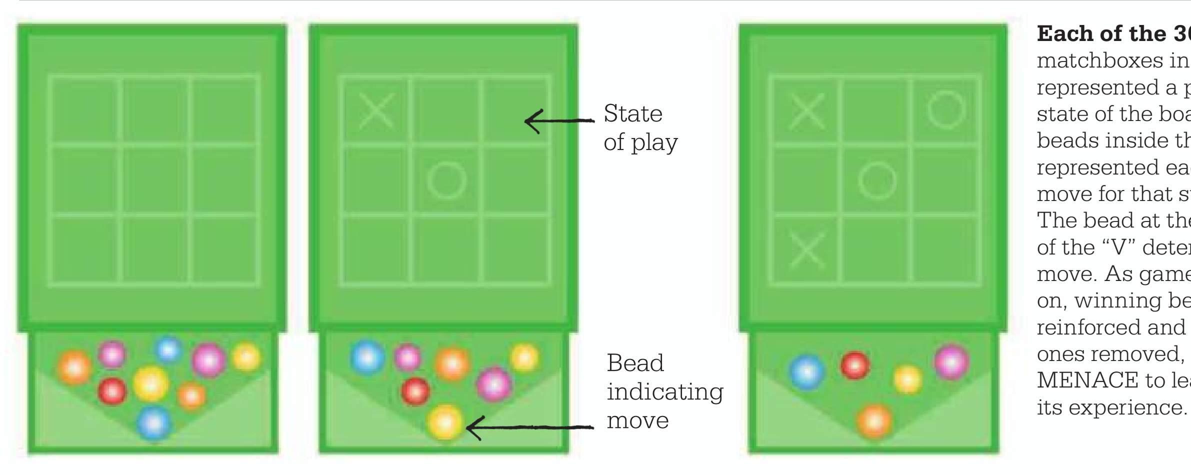
In each matchbox box were beads of nine different kinds, distinguished by color. Each color of bead corresponded to MENACE putting its O on a certain one of the nine squares. For example, a green bead meant O in the lower left square, a red one designated O in the central square, and so on.



Mechanics of the game

MENACE opened the game using the matchbox for no Os or Xs in the grid—the "first move" box. In the tray of each matchbox were two extra pieces of card at one end forming a "V" shape. To play, the tray was removed from the box, jiggled, and tilted so the V was at the lower end. The beads randomly rolled down and one nestled into the apex of the V. Thus chosen, this bead's color determined the position of MENACE's first O in the grid. This bead was then put aside, and the tray replaced in its box but left slightly open.

See also: Alan Turing 252–53



Each of the 304 matchboxes in MENACE represented a possible state of the board. The beads inside the boxes represented each possible move for that state. The bead at the bottom of the "V" determined the move. As games went on, winning beads were reinforced and losing ones removed, allowing MENACE to learn from its experience.

Next, the opponent positioned their first X. For the second turn of MENACE, the matchbox was selected that corresponded to the positions of the X and O on the grid at this time. Again the matchbox was opened, the tray shaken and tilted, and the color of the randomly selected bead determined the position of MENACE's second O. The opponent placed their second X. And so on, recording MENACE's sequence of beads and so moves.

Win, lose, draw

Eventually there came a result. If MENACE won, it received reinforcement or a "reward." The removed beads showed the sequence of winning moves. Each of these beads was put back in its box, identified by the code number and slightly open tray. The tray also received three extra "bonus" beads of the same color. As a consequence, in a future game, if the same permutation of Os and Xs occurred on the grid, this matchbox would come into play again—and it had more of the beads that previously led to a win. The chances of choosing that bead, and so the same move and another possible win, were increased.

If MENACE lost it was "punished" by not receiving back the removed beads, which represented the losing sequence of moves. But this was still positive. In future games, if the same permutation of Xs and Os cropped up, the beads designating the same move as the previous time were either fewer in number or absent, thereby lessening the chance of another loss.



Colossus, the world's first electronic programmable computer, was made in 1943 to crack codes at Bletchley Park in England. Michie trained staff to use the computer.

For a draw, each bead from that game was replaced in its relevant box, along with a small reward, one bonus bead of the same color. This increased the chances of that bead being selected if the same permutation came around again, but not as much as the win with three bonus beads.

Michie's goal was that MENACE would "learn from experience." For given permutations of Os and Xs, when a certain sequence of moves had been successful, it should gradually become more likely, while moves that led to losses would become less likely. It should progress by trial and error, adapt with experience, and with more games, become more successful.

Controlling variables

Michie considered potential problems. What if the selected bead from a tray decreed that MENACE's O should be placed on a square already occupied by an O or X? Michie accounted for this by ensuring that each matchbox contained only beads corresponding to empty squares for its particular permutation. So the »

box for the permutation of O top left and X bottom right did not contain beads for putting the next O on those squares. Michie considered that putting beads for all nine possible O positions in every box would "complicate the problem unnecessarily." It meant MENACE would not only learn to win or draw, it would also have to learn the rules as it went along. Such start-up conditions might lead to one or two early disasters that collapsed the whole system. This demonstrated a principle: machine learning works best starting simple and gradually add more sophistication.

Michie also pointed out that when MENACE lost, its last move was the 100 percent fatal one. The move before contributed to the loss, as though backing the machine into a corner, but less so—usually it still left open the possibility of escaping defeat. Working back toward the start of the game, each earlier move contributed less to the final defeat—that is, as moves accumulate, the probability that each becomes the final one increases. Therefore as the total number of moves grows, it becomes more important to get rid of choices that have proved fatal.



Expert knowledge is intuitive; it is not necessarily accessible to the expert himself.
Donald Michie




Michie simulated this by having different numbers of beads for each move. So for MENACE's second move (third move overall), each box that could be called upon to play—those with permutations of one O and one X already in the grid—had three of each kind of bead. For MENACE's third move, there were two beads of each kind, and for its fourth (seventh move overall), just one. A fatal choice on the fourth move would result in removal of the only bead specifying that position on the grid. Without that bead, the same situation could not recur.

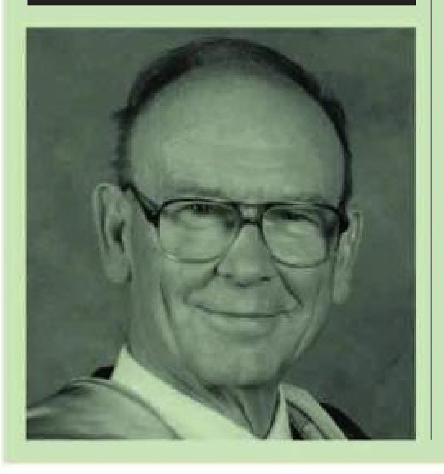
Human vs MENACE

So what were the results? Michie was MENACE's first opponent in a tournament of 220 games. MENACE began shakily but soon settled down to draw more often, then notch up some wins. To counter, Michie began to stray from safe options and employ unusual strategies. MENACE took time to adapt but then began to cope with these too, coming back to achieve more draws, then wins. At one point in a series of 10 games, Michie lost eight.

MENACE provided a simple example of machine learning and how altering variables could affect the outcome. Michie's description of MENACE was, in fact, part of a longer account that went on to compare its performance with trial-and-error animal learning, as Michie explained:

'"Essentially, the animal makes more-or-less random movements and selects, in the sense that it subsequently repeats, those which produced the 'desired' result. This description seems tailor-made for the matchbox model. Indeed, MENACE constitutes a model of trial-and-error learning in so pure

Donald Michie



Born in 1923 in Rangoon, Burma (Myanmar), Michie won a scholarship to Oxford in 1942, but instead assisted in the war effort by joining the code-breaking teams at Bletchley Park, becoming a close colleague of the computing pioneer Alan Turing.

In 1946, he returned to Oxford to study mammalian genetics. However, he had a growing interest in artificial intelligence, and by the 1960s it had become his main pursuit. He moved to the University of Edinburgh in 1967, and became the first Chairman of the Department of Machine Intelligence and Perception. He worked on the FREDDY series of visually-enabled, teachable research robots. In addition, he ran a series of prestigious artificial intelligence projects and founded the Turing Institute in Glasgow.

Michie continued as an active researcher into his eighties. He died in a car accident while traveling to London in 2007.

Key work

1961 *Trial and Error*

a form, that when it shows elements of other categories of learning we may reasonably suspect these of contamination with a trial-and-error component."

Turning point

Before developing MENACE, Donald Michie had pursued a distinguished research career in biology, surgery, genetics, and embryology. After MENACE, he moved into the fast-developing area of artificial intelligence (AI). He developed his machine learning ideas into "industrial-strength tools" applied in hundreds of situations, including assembly lines, factory production, and steel mills. As computers spread, his artificial intelligence work was used to design computer programs and control structures that could learn in ways perhaps not even guessed at by their human originators. Michie demonstrated that careful application of human intelligence empowered machines to make themselves smarter. Recent developments in AI use similar principles to develop networks that mirror the neural networks of animals' brains.

Michie also conceived the notion of memoization, in which the result of each set of inputs in a machine or computer was stored as a reminder or "memo." If the same set of inputs recurred, the device would at once activate the memo and recall the answer, rather than recalculating afresh, thereby saving time and resources. He contributed the memoization technique to computer programming languages such as POP-2 and LISP. ■

New computer technology has led to a rapid development in AI, and in 1997, the chess machine Deep Blue defeated world champion Garry Kasparov. The computer learned strategy by analyzing thousands of past games.



He had this concept that he wanted to try out that he thought might possibly solve computer chess…It was the idea of reaching a steady state.

Kathleen Spracklen





THE UNITY OF FUNDAMENTAL FORCES

SHELDON GLASHOW (1932–)

IN CONTEXT

BRANCH
Physics

BEFORE
1820 Hans Christian Ørsted discovers that magnetism and electricity are aspects of the same phenomenon.

1864 James Clerk Maxwell describes electromagnetic waves in a set of equations.

1933 Enrico Fermi's theory of beta decay describes the weak force.

1954 The Yang–Mills theory lays the mathematical groundwork for unifying the four fundamental forces.

AFTER
1974 A fourth kind of quark, the "charm" quark, is discovered, revealing a new underlying structure to matter.

1983 The force-carrying W and Z bosons are discovered in CERN's Super Proton Synchrotron in Switzerland.

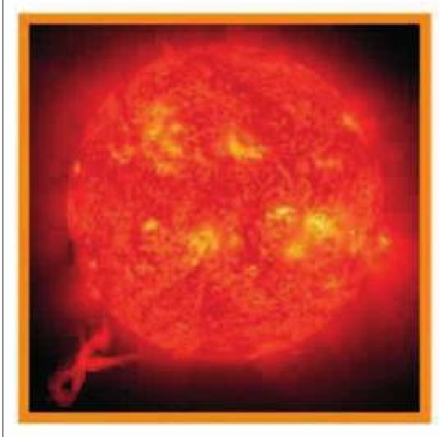
The idea of forces of nature, or fundamental forces, goes back at least to the ancient Greeks. Physicists currently recognize four fundamental forces—gravity, electromagnetism, and the two nuclear forces, weak and strong interactions, which hold together the subatomic particles inside the nucleus of an atom. We now know that the weak force and the electromagnetic force are different manifestations of a single "electroweak" force. Discovering this was an important step on the way to finding a "Theory of Everything" that would explain the relationship between all four forces.

The weak force

The weak force was first invoked to explain beta decay, a type of nuclear radiation in which a neutron turns into a proton inside the nucleus, emitting electrons or positrons in the process. In 1961, a graduate student at Harvard, Sheldon Glashow, was given the ambitious brief to unify the theories of weak and electromagnetic interactions. Glashow fell short of this, but did describe the force-carrying particles that mediate interaction via the weak force.

Messenger particles

In the quantum mechanical description of fields, a force is "felt" by the exchange of a gauge boson, such as the photon, which carries electromagnetic interaction. A boson is emitted by one particle and absorbed by a second. Normally, neither particle is fundamentally changed by this interaction—an electron is still an electron after absorbing or emitting a photon. The weak force breaks this symmetry, changing quarks (the particles that protons and neutrons are made from) from one kind to another.



Decay of particles via the weak force drives the Sun's proton–proton fusion reaction, turning hydrogen into helium. Without it, the Sun wouldn't shine.

See also: Marie Curie 190–95 ▪ Ernest Rutherford 206–13 ▪ Peter Higgs 298–99 ▪ Murray Gell-Mann 302–07

A "Theory of Everything" suggests an explanation of the unity of the fundamental forces.

↓

It is proposed that, at stupendously high temperatures **just after the Big Bang**, all four forces were united as one "**superforce.**"

↓

At a temperature of about 10^{32}K, **gravity** separated from the other forces.

↓

At about 10^{27}K, the **strong nuclear force** separated.

↓

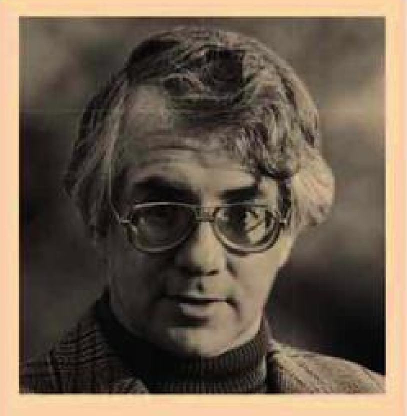
At about 10^{15}K, the **electromagnetic** and **weak forces** separated.

So what kind of boson might be involved? Glashow guessed that the bosons associated with the weak force had to be relatively massive because the force operates over miniscule ranges and heavy particles do not travel far. He proposed two charged bosons, W+ and W–, and a third neutral Z boson. The W and Z force-carriers were detected by CERN's particle accelerator in 1983.

Unification

In the 1960s, two physicists, American Steven Weinberg and Pakistani Abdus Salam, working independently, incorporated the Higgs field (pp.298–99) into Glashow's theory. The resultant Weinberg–Salam model, or unified electroweak theory, brought weak interaction and electromagnetic force together as a single force.

This was an astounding result, since the weak and electromagnetic forces operate in entirely different spheres. The electromagnetic force extends to the very edge of the visible universe (the force is carried by massless photons of light), while the weak force barely reaches across an atomic nucleus and is some 10 million times weaker. Their unification opens up the tantalizing possibility that, under certain high-energy conditions such as those just after the Big Bang, all four fundamental forces may coalesce into one "superforce." The search continues for evidence of such a Theory of Everything. ■



Sheldon Glashow

Sheldon Lee Glashow was born in New York in 1932, the son of Russian Jewish immigrants. He attended high school with his friend Steven Weinberg and upon graduating in 1950, they both studied physics at Cornell University. Glashow earned his PhD from Harvard, where he came up with a description of the W and Z bosons. After Harvard, he went to the University of California at Berkeley in 1961, and later returned to join the faculty at Harvard as a professor of physics in 1967.

In the 1960s, Glashow extended Murray Gell-Mann's quark model, adding a property known as "charm" and predicting a fourth quark, which was discovered in 1974. In recent years, he has been heavily critical of string theory, disputing its place in physics due to its lack of testable predictions, and describing it as a "tumor."

Key works

1961 *Partial Symmetries of Weak Interactions*
1988 *Interactions: A Journey Through the Mind of a Particle Physicist*
1991 *The Charm of Physics*



WE ARE THE CAUSE OF GLOBAL WARMING

CHARLES KEELING (1928–2005)

IN CONTEXT

BRANCH
Meteorology

BEFORE
1824 Joseph Fourier suggests that Earth's atmosphere makes the planet warmer.

1859 Irish physicist John Tyndall proves that carbon dioxide (CO_2), water vapor, and ozone trap heat in Earth's atmosphere.

1903 Swedish chemist Svante Arrhenius suggests that the CO_2 released by burning fossil fuel might be causing atmospheric warming.

1938 British engineer Guy Callendar reports that Earth's average temperature increased by 1°F (0.5°C) between 1890 and 1935.

AFTER
1988 The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is set up to assess scientific research and guide global policy.

Carbon dioxide is a **greenhouse gas** that traps heat in Earth's atmosphere.

Its **concentration** in the air is **rising** in line with fossil fuel consumption.

Earth's **temperature** is **rising**.

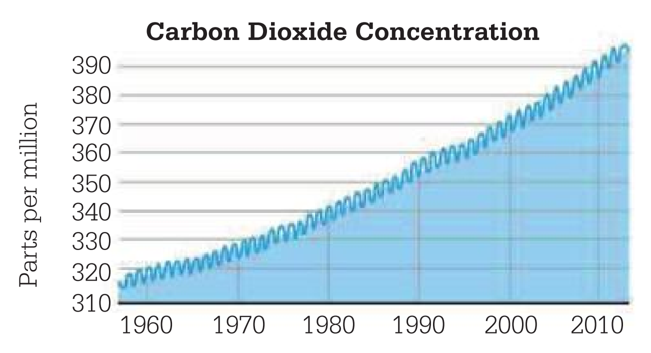
We are the cause of global warming.

The realization that carbon dioxide (CO_2) levels in the atmosphere are not only rising but might also cause disastrous warming first came to widespread scientific and public attention in the 1950s. Past scientists had assumed that the concentration of CO_2 in the atmosphere varied from time to time, but was always around 0.03 percent, or 300 parts per million (ppm). In 1958, American geochemist Charles Keeling began to measure the concentration of CO_2 using a sensitive instrument he had developed. It was his findings that alerted the world to the relentless rise of CO_2 and, by the late 1970s, to the human role in accelerating the so-called greenhouse effect.

Regular measurements

Keeling measured CO_2 in several places: Big Sur in California, the Olympic peninsula in Washington State, and the high mountain forests of Arizona. He also recorded measurements at the South Pole and from aircraft. In 1957, Keeling founded a meteorological station at 10,000 ft (3,000 m) above sea level on the top of Mauna Loa in Hawaii.

See also: Jan Ingenhousz 85 ▪ Joseph Fourier 122–23 ▪ Robert FitzRoy 150–55



Keeling's graph plots the rising levels of CO_2 in the atmosphere year after year. The small annual fluctuation (shown by the blue line) is due to seasonal changes in CO_2 uptake by plants.

Keeling measured the carbon dioxide level at the station regularly, and discovered three things.

First, there was a daily variation locally. The concentration was at a minimum midafternoon, when green plants were at their most active in soaking up CO_2. Second, there was annual variation globally. The northern hemisphere had more land for plants to grow, and the level of CO_2 rose slowly during the northern winter when plants were not growing. It reached a peak in May before plants started to grow and began soaking up CO_2 again. The level dropped to a minimum in October, when northern plants died back for winter. Third, crucially, the concentration was increasing inexorably. Cores of polar ice contained bubbles of air, which showed that during most of the time since 9000 BCE, the CO_2 concentration varied from 275 to 285 ppm by volume. In 1958, Keeling measured 315 ppm; by May 2013, the average concentration exceeded 400 ppm for the first time. The increase from 1958 to 2013 was 85 ppm, meaning that the concentration had increased by 27 percent in 55 years. This was the first concrete evidence that the concentration of CO_2 in Earth's atmosphere is increasing.

CO_2 is a greenhouse gas, helping to trap heat from the Sun, so increasing CO_2 concentration is likely to lead to global warming. Keeling found the following: "At the South Pole the concentration has increased at the rate of about 1.3 ppm per year…the observed rate of increase is nearly that to be expected from the combustion of fossil fuel (1.4 ppm)." In other words, humans are at least part of the cause. ■



The demand for energy is certain to increase…as an ever larger population strives to improve its standard of living.
Charles Keeling



Charles Keeling



Born in Scranton, Pennsylvania, Charles Keeling was an accomplished pianist as well as a scientist. In 1954, as a postdoctoral fellow in geochemistry at the California Institute of Technology (Caltech), he developed a new instrument to measure carbon dioxide in atmospheric samples. He found that the concentration varied hour by hour at Caltech, probably because of all the traffic, so he went camping in the wilderness at Big Sur and found small but significant variations there, too. This inspired him to begin what was to be a lifetime's work. In 1956, he joined the Scripps Institution of Oceanography in La Jolla, California, where he worked for 43 years.

In 2002, Keeling received the National Medal of Science, America's highest award for lifetime achievement in science. Since his death, his son Ralph has taken over his work monitoring the atmosphere.

Key work

1997 *Climate Change and Carbon Dioxide: An Introduction*



THE BUTTERFLY EFFECT

EDWARD LORENZ (1917–2008)

IN CONTEXT

BRANCH
Meteorology

BEFORE
1687 Newton's three laws of motion hold that the universe is predictable.

1880s Henri Poincaré shows that the motion of three or more bodies interacting gravitationally is generally chaotic and unpredictable.

AFTER
1970s Chaos theory is used to model traffic flow, digital encryption, function, and in designs for cars and aircraft.

1979 Benoît Mandelbrot discovers the Mandelbrot set, which shows how complex patterns can be created using very simple rules.

1990s Chaos theory is thought of as a subset of complexity science, which seeks to explain complex natural phenomena.

Much of the history of science has been devoted to developing simple models that predict the behavior of systems. Certain phenomena in nature, such as planetary motion, lend themselves readily to this schema. With a description of the initial conditions—the mass of a planet, its position, velocity, and so on—future configurations can be

According to Newton's laws, **the universe can be predicted**.

Calculating the trajectories of pool balls after a break should be possible if we have **all the data** about the balls and table.

But no matter how accurate our data, it is **impossible to replicate** a pool break…

…because the **many, tiny differences** in the initial setup will cause the final distribution of balls to **vary wildly.**

These minute uncertainties **forbid us from knowing how a system will change.**

Accurate predictions of **chaotic phenomena** are impossible.

See also: Isaac Newton 62–69 ▪ Benoît Mandelbrot 316

calculated. However, the behavior of many processes, such as waves crashing on a beach, smoke rising from a candle, or weather patterns, is chaotic and unpredictable. Chaos theory seeks to explain such unpredictable phenomena.

Three-body problem

The first strides toward chaos theory were taken in the 1880s, when French mathematician Henri Poincaré worked on the "three-body problem." Poincaré showed that for a planet with a satellite orbiting a star—an Earth-Moon-Sun system—there is no solution for a stable orbit. Not only was the gravitational interaction between bodies far too complex to calculate, Poincaré found that tiny differences in initial conditions resulted in large and unpredictable changes. However, his work was largely forgotten.

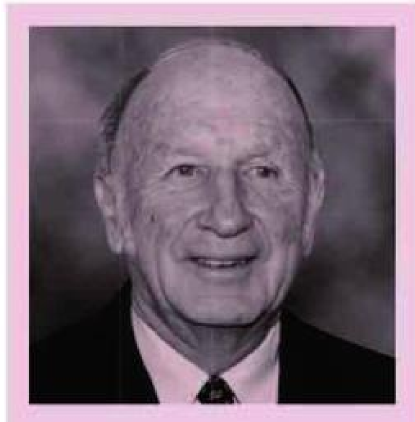
A surprise discovery

Few further developments occurred in the field until the 1960s, when scientists began to use new, powerful computers to predict the weather. Surely, they reasoned, given enough data on the state of the atmosphere at a given time and enough computational power to crunch the data, it should be possible to know how weather systems evolve. Working on the assumption that ever-larger computers would increase the range of predictions, Edward Lorenz, an American meteorologist at the Massachusetts Institute of Technology (MIT), tested simulations involving just three simple equations. He ran the simulation several times, each time inputting the same initial state and expecting to see the same results. Lorenz was astounded when the computer returned hugely different outcomes each time. Checking his figures again, he found that the program had rounded up the numbers from six decimal places to three. This tiny alteration to the initial state had a major impact on the end result. This sensitive dependence on initial conditions was named the "butterfly effect"—the idea that a small change in a system, as trivial as a teaspoonful of air molecules moved by a butterfly flapping its wings in Brazil, can be amplified over time to create unpredictable outcomes, such as a tornado in Texas.

Edward Lorenz defined the limits of predictability, explaining that the impossibility of knowing what will happen is actually written into the rules that govern a chaotic system. Not only weather, but many real-world systems are chaotic—traffic systems, stock market fluctuations, the flow of fluids and gases, the growth of galaxies—and they have all been modeled using chaos theory. ■



Here, turbulence forms at the tip of a vortex left in the wake of an aircraft's wing. Study of the critical point beyond which a system creates turbulence was key to the development of chaos theory.



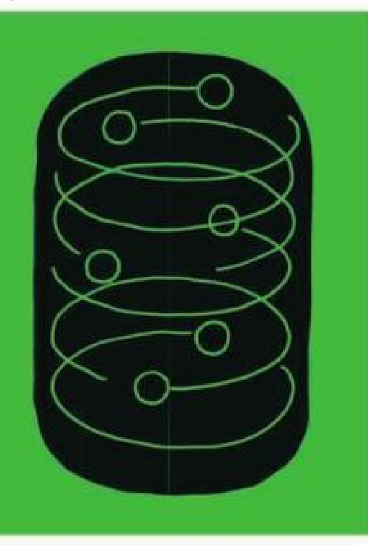
Edward Lorenz

Born in West Hartford, Connecticut, in 1917, Edward Norton Lorenz received his MSc in mathematics from Harvard in 1940. During World War II he served as a meteorologist, forecasting the weather for the US Army Air Corps. After the war, he studied meteorology at Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Lorenz's discovery of sensitive dependency on initial conditions (SDIC) was accidental—and one of the great "eureka" moments in science. Running simple computer simulations of weather systems he found that his model was churning out wildly different outcomes, despite being supplied with almost identical starting conditions. His seminal 1963 paper showed that perfect weather prediction was a pipe dream. Lorenz remained physically and academically active all his life, contributing academic papers, and hiking and skiing until shortly before his death in 2008.

Key work

1963 *Deterministic Nonperiodic Flow*



A VACUUM IS NOT EXACTLY NOTHING

PETER HIGGS (1929–)

IN CONTEXT

BRANCH
Physics

BEFORE
1964 Peter Higgs, François Englert, and Robert Brout describe a field that gives mass to all elementary and force-carrying particles.

1964 Three separate teams of physicists predict the existence of a new massive particle (the Higgs boson).

AFTER
1966 Physicists Steven Weinberg and Abdus Salam use the Higgs field to formulate the electroweak theory.

2010 CERN's Large Hadron Collider reaches full power. The search begins for the Higgs boson.

2012 Scientists at CERN announce the discovery of a new particle matching the description of the Higgs boson.

Imagine a room of physicists at a **cocktail party**. This is like the Higgs field, which fills everything, **even a vacuum**.

A **tax collector** enters the party, and travels unimpeded to the bar at the far end of the room.

In walks **Peter Higgs**. The physicists would like to talk to him, so they gather around, impeding his progress.

The taxman has **little interaction** with the "field" of physicists and is analogous to a **particle of low mass**.

Peter Higgs **interacts strongly** with the "field" and moves slowly through the room. He is like a **high-mass particle**.

A vacuum is not exactly nothing.

The great scientific event of 2012 was the announcement from scientists at the Large Hadron Collider (LHC) at CERN in Switzerland that a new particle had been found, and that it might be the elusive Higgs boson. The Higgs boson gives mass to all things in the universe, and is the missing piece that completes the standard model of physics. Its existence had been hypothesized by six physicists, among them Peter Higgs, in 1964. Finding the Higgs boson was of

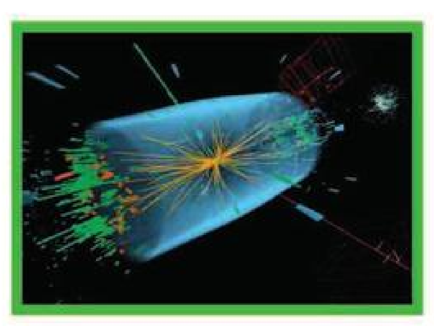
See also: Albert Einstein 214–21 ▪ Erwin Schrödinger 226–33 ▪ Georges Lemaître 242–45 ▪ Paul Dirac 246–47 ▪ Sheldon Glashow 292–93

fundamental importance because it answered the question "why are some force-carrying particles massive while others are massless?"

Fields and bosons

Classical (pre-quantum) physics imagines electrical or magnetic fields as continuous, smoothly changing entities spread through space. Quantum mechanics rejects the notion of a continuum, so fields become distributions of discrete "field particles" where the strength of the field is the density of the field particles. Particles passing through a field are influenced by it via exchange of "virtual" force-carrying particles called gauge bosons.

The Higgs field fills space—even a vacuum—and elementary particles gain mass by interacting with it. How this effect occurs can be explained by analogy. Imagine a field covered in thick snow that skiers and people in snowshoes must cross. Each person will take more or less time, depending on how strongly they "interact" with the snow. Those that glide across on skis are like low-mass particles, while those that sink into the snow experience a greater mass as they travel. Massless particles, such as photons and gluons—the force-carriers of the electromagnetic and strong nuclear forces respectively—are unaffected by the Higgs field and sail straight through, like geese flying over the field.



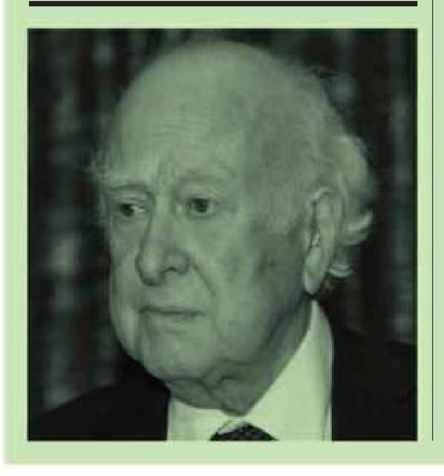
The Higgs boson destroys itself within trillionths of a second of being born. It is created when other particles interact with the Higgs field.

The hunt for the Higgs

In the 1960s, six physicists, including Peter Higgs, François Englert, and Robert Brout, developed the theory of "spontaneous symmetry breaking," which explained how the particles that mediate the weak force, the W and Z bosons, are massive, while protons and gluons have no mass. This symmetry breaking was crucial in the formulation of the electroweak theory (pp.292–93). Higgs showed how the Higgs boson (or rather the decay products of the boson) should be detectable.

The search for the Higgs boson spawned the world's largest science project, the Large Hadron Collider—a giant proton collider with a 17-mile (27-km) circumference, buried 300 ft (100 m) underground. When running full tilt, the LHC generates energies similar to those that existed just after the Big Bang—enough to create one Higgs boson every billion collisions. The difficulty is spotting its traces among a vast shower of debris—and the Higgs is so massive that, on appearing, it decays instantly. However, after nearly 50 years of waiting, the Higgs has finally been confirmed. ■

Peter Higgs



Born in Newcastle-upon-Tyne, England, in 1929, Peter Higgs earned undergraduate and doctoral degrees from King's College, London before joining the University of Edinburgh as a Senior Research Fellow. After a stint in London, he returned to Edinburgh in 1960. Walking in the Cairngorm Mountains, Higgs had his "one big idea"—a mechanism that would enable a force field to generate both high-mass and low-mass gauge bosons. Others were working along similar lines, but we talk of the "Higgs field" today, rather than the Brout–Englert–Higgs field, because his 1964 article described how the particle could be spotted. Higgs claims to have an "underlying incompetence" since he did not study particle physics at the PhD level. This handicap did not stop him from sharing the 2013 Nobel Prize in Physics with François Englert for their work in 1964.

Key works

1964 *Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons*
1964 *Broken Symmetries and the Mass of Gauge Bosons*



SYMBIOSIS IS EVERYWHERE

LYNN MARGULIS (1938–2011)

IN CONTEXT

BRANCH
Biology

BEFORE
1858 German doctor Rudolf Virchow proposes that cells arise only from other cells, and are not formed spontaneously.

1873 German microbiologist Anton de Bary coins the term "symbiosis" for different kinds of organisms living together.

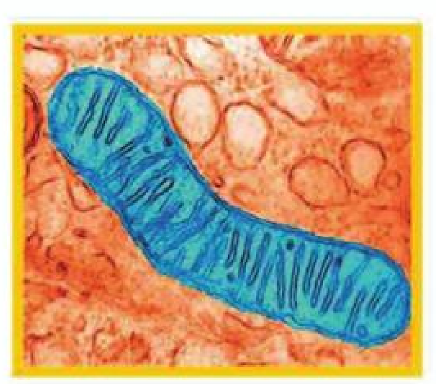
1905 According to Konstantin Mereschkowsky, chloroplasts and nuclei originated by a process of symbiosis, but his theory lacks evidence.

1937 French biologist Edouard Chatton divides life forms by cell structure, into eukaryote (complex) and prokaryote (simple). His theory is rediscovered in 1962.

AFTER
1970–75 US microbiologist Carl Woese discovers that chloroplast DNA is similar to that of bacteria.

Charles Darwin's theory of evolution coincided with a cellular theory of life that emerged in the 1850s, asserting that all organisms were made of cells, and new cells could only come from existing ones by a process of division. Some of their internal components, such as food-making chloroplasts, apparently reproduced by division too.

This last discovery led Russian botanist Konstantin Mereschkowsky to the idea that chloroplasts may once have been independent life forms. Evolutionary and cellular biologists asked: how did complex cells arise? The answer lay in endosymbiosis—a theory that was first proposed by Mereschkowsky in 1905, but was only accepted after an American biologist called Lynn Sagan (later Margulis) furnished the evidence in 1967.



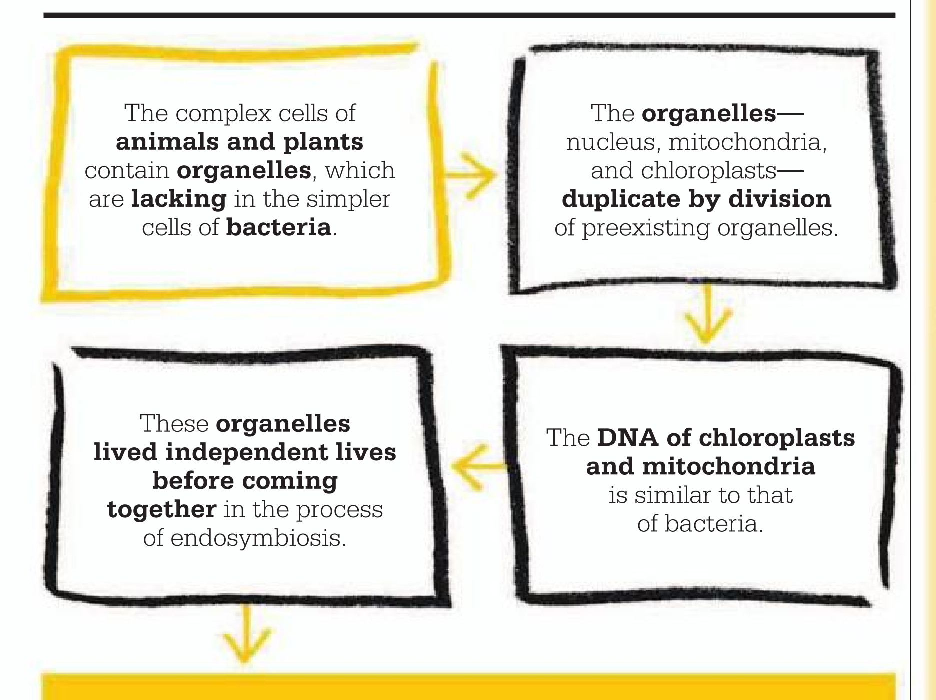
Mitochondria are organelles that make the energy-carrying chemical adenosine triphosphate (ATP) inside a eukaryotic cell. This mitochondrion has been artificially colored blue.

Complex cells with internal structures called organelles—the nucleus (which controls the cell), mitochondria (which release energy), and chloroplasts (which conduct photosynthesis)—are found in animals, plants, and many microbes. These cells, now called eukaryotic, evolved from simpler bacterial cells, which lack organelles and are now called prokaryotic. Mereschkowsky imagined primordial communities of the simpler cells—some making food by photosynthesis, others preying on their neighbors and engulfing them whole. Sometimes the engulfed cells were left undigested and, he suggested, became chloroplasts—but without proof, this theory of endosymbiosis (living together and within) faded.

New evidence

The invention of the electron microscope in the 1930s, combined with advances in biochemistry,

See also: Charles Darwin 142–49 ▪ James Watson and Francis Crick 276–83 ▪ James Lovelock 315



helped biologists to unlock the inner working of cells. By the 1950s, scientists knew that DNA provided genetic instructions for carrying out life processes and was relayed from generation to generation. In eukaryotic cells, DNA is packaged in the nucleus, but it is also found in chloroplasts and mitochondria.

In 1967, Margulis used this discovery as evidence to revive and substantiate the endosymbiosis theory. She included the suggestion that there had been an oxygen "holocaust" in the early history of life on Earth. About two billion years ago, as photosynthesizers flourished, they saturated the world with oxygen, which poisoned many of the microbes around at the time. Predatory microbes survived by engulfing others that could "soak up" the oxygen in their energy-releasing processes. These became mitochondria: the "power packs" of cells today. At first, this appeared farfetched to most biologists, but the evidence for Margulis's theory gradually became persuasive, and it has now been widely accepted. For example, the DNA of mitochondria and chloroplasts are made from circular molecules—just like the DNA of living bacteria.

Evolution by cooperation was not something new: Darwin himself had conceived the idea to explain the mutually beneficial interplay between nectar-giving plants and pollinating insects. But few had thought it could happen so intimately—and fundamentally—as when cells merged together at the very dawn of life. ■



Lynn Margulis

Lynn Alexander (later Sagan, then Margulis) entered Chicago University at just 14, before earning a PhD at the University of California, Berkeley. Her interests in the cellular diversity of organisms led her to revive and champion the evolutionary theory of endosymbiosis, which biologist Richard Dawkins has described as "one of the great achievements of 20th-century evolutionary biology."

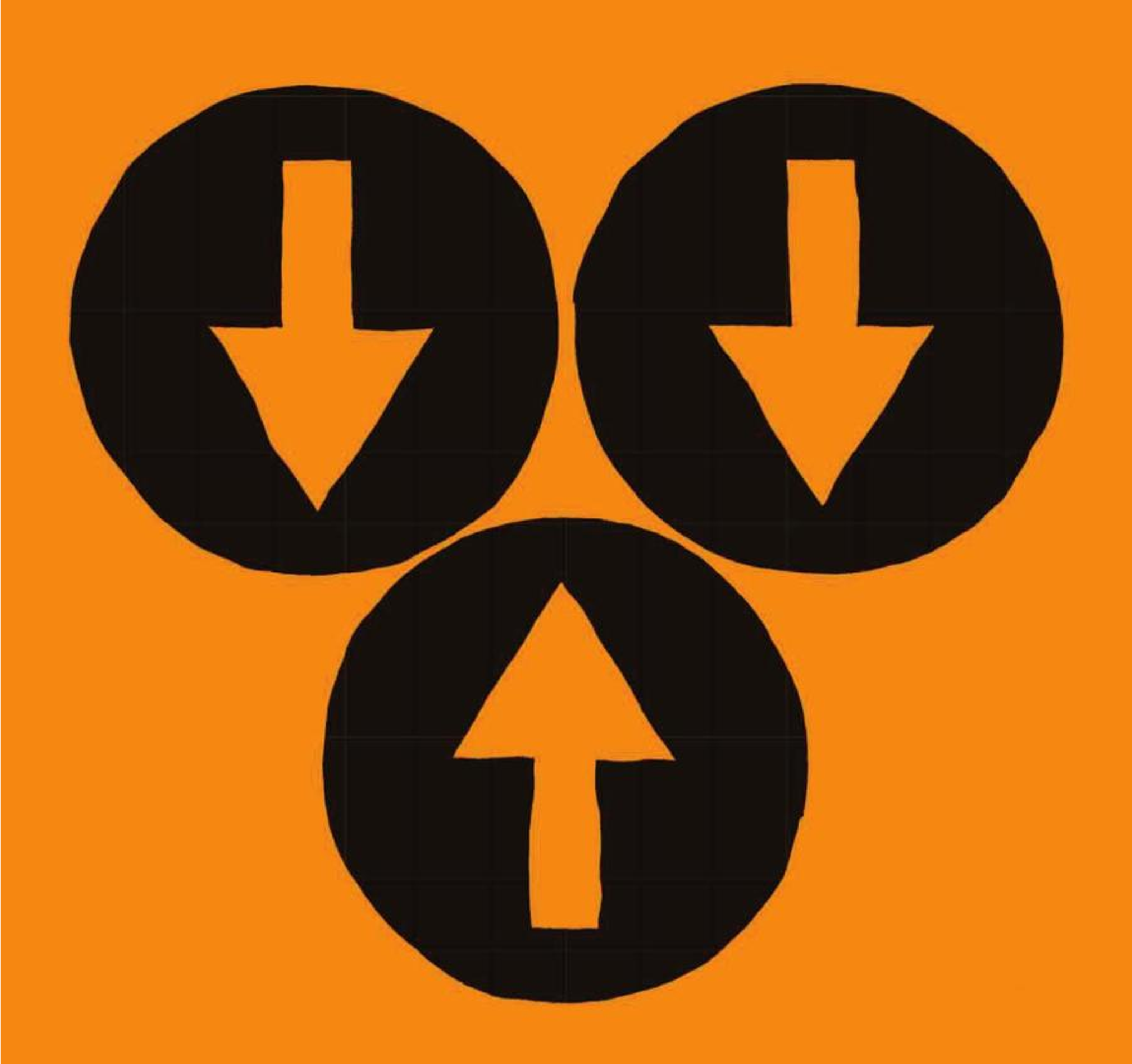
For Margulis, cooperative interactions were as important as competition in driving evolution—and she viewed living things as self-organizing systems. She later supported James Lovelock's Gaia hypothesis that Earth, too, could be viewed as a self-regulating organism. In recognition of her work, she was made a member of the US National Academy of Science and received the National Medal of Science.

Key works

1967 *On the Origin of Mitosing Cells*
1970 *Origin of Eukaryotic Cells*
1982 *Five Kingdoms: An Illustrated Guide to the Phyla of Life on Earth*

QUARKS COME IN THREES

MURRAY GELL-MANN (1929–)



IN CONTEXT

BRANCH
Physics

BEFORE
1932 A new particle, the neutron, is discovered by James Chadwick. There are now three known subatomic particles with mass: the proton, neutron, and electron.

1932 The first antiparticle, the positron, is discovered.

1940s–50s Increasingly powerful particle accelerators—which smash particles together at high speeds—produce large numbers of new subatomic particles.

AFTER
1964 The discovery of the omega (Ω–) particle confirms the quark model.

2012 The Higgs boson is discovered at CERN, adding weight to the standard model.

Understanding of the structure of the atom has changed dramatically since the end of the 19th century. In 1897, J. J. Thomson made the bold suggestion that cathode rays are streams of particles far smaller than the atom; he had discovered the electron. In 1905, building on the light quanta theory of Max Planck, Albert Einstein suggested that light should be thought of as a stream of tiny massless particles, which we now call photons. In 1911, Thomson's protégé Ernest Rutherford deduced that an atom's nucleus is small and dense, with electrons in orbit around it. The image of an atom as an indivisible whole had been destroyed.

In 1920, Rutherford named the nucleus of the lightest element, hydrogen, the proton. Twelve years later, the neutron was discovered, and a more complex picture of nuclei made of protons and neutrons emerged. Then, in the 1930s, a glimpse of further realms of particles came from studies of cosmic rays—high-energy particles that are thought to originate in supernovae. The studies revealed new particles associated with high energies, and hence with greater masses according to Einstein's principle of mass–energy equivalence ($E = mc^2$).



How can it be that writing down a few simple and elegant formulae can predict universal regularities of Nature?
Murray Gell-Mann



Seeking to explain the nature of interactions inside the atomic nucleus, scientists in the 1950s and 1960s produced an enormous body of work providing the conceptual framework for all matter in the universe. Many figures contributed to this process, but American physicist Murray Gell-Mann played a pivotal role in the construction of a taxonomy of fundamental particles and force-carriers called the standard model.

Formulating **the standard model** of particle physics leads theorists to predict that **hadrons** (protons and neutrons) **are made of** smaller particles called **quarks**.

Quarks are detected by colliding protons in a particle accelerator.

Quarks group together in twos and threes to make hadrons.

The particle zoo

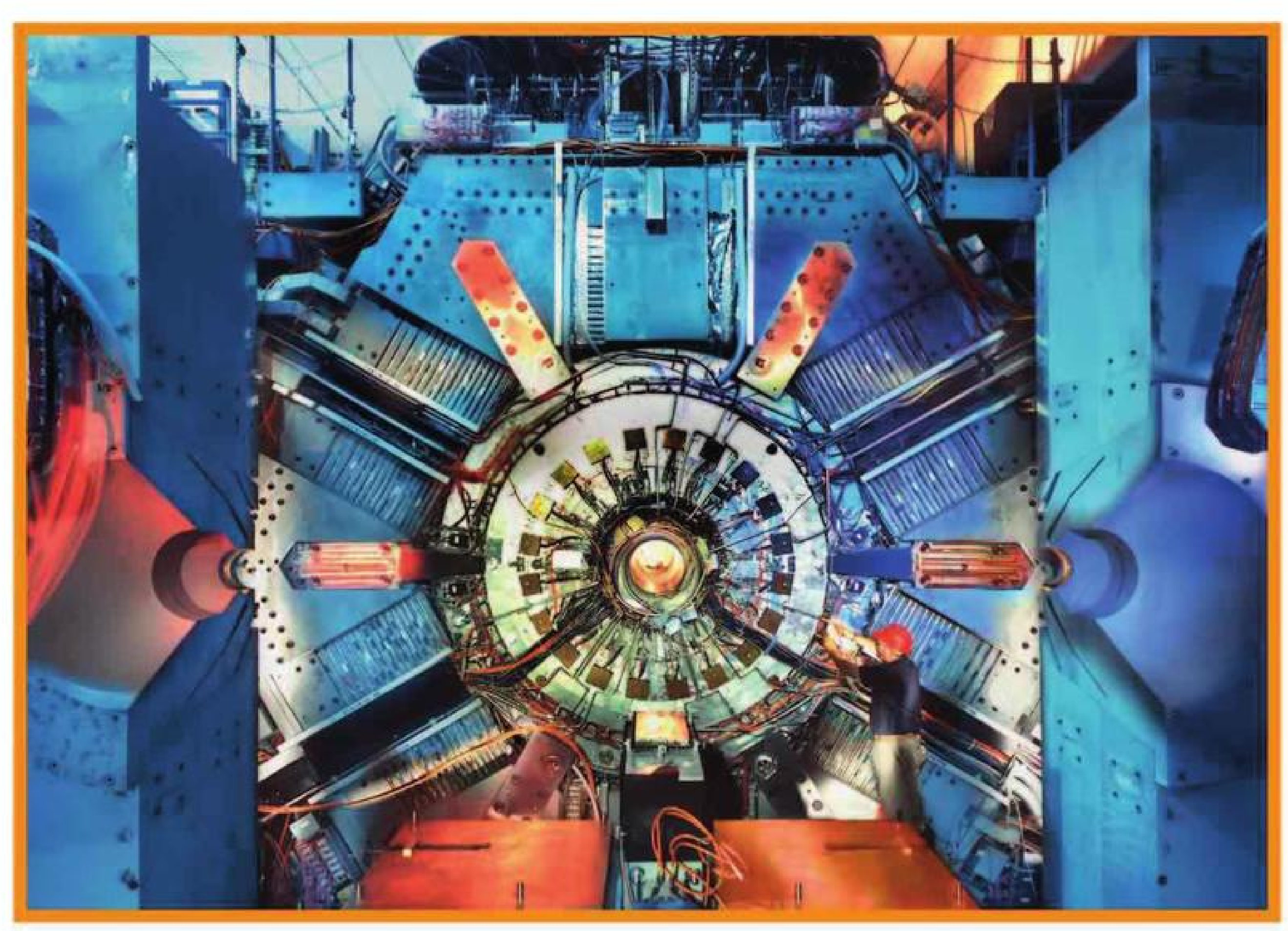
Gell-Mann jokes that the goals of the theoretical elementary particle physicist are "modest"—they merely aim to explain the "fundamental laws that govern all matter in the universe." Theorists, he says, "work with pencil, paper, and wastebasket, and the most important of those is the last." By contrast, the experimentalist's principal tool is the particle accelerator, or collider.

In 1932, the first atomic nuclei—of the element lithium—were blown apart by physicists Ernest Walton

See also: Max Planck 202–05 ▪ Ernest Rutherford 206–13 ▪ Albert Einstein 214–21 ▪ Paul Dirac 246–47 ▪ Richard Feynman 272–73 ▪ Sheldon Glashow 292–93 ▪ Peter Higgs 298–99

and John Cockcroft using a particle accelerator in Cambridge, England. Since then, ever more powerful particle accelerators have been constructed. These machines boost tiny subatomic particles to nearly the speed of light before slamming them into targets or each other. Research is now driven by theoretical predictions—the largest particle accelerator, the Large Hadron Collider (LHC) in Switzerland, was built primarily to find the theoretical Higgs boson (pp.298–99). The LHC is a 17-mile (27-km) ring of superconducting magnets that took 10 years to build. Collisions between subatomic particles splinter them into their core units. The energy released is sometimes enough to produce new generations of particles that cannot exist under everyday conditions. Showers of short-lived, exotic particles spray off these pileups, before swiftly annihilating or decaying. With ever-increasing energies at their disposal, researchers attempt to probe the mysteries of matter by getting even closer to the conditions at the birth of matter itself—the Big Bang. The process has been likened to smashing two watches together and then sifting through the wrecked pieces in an attempt to find out how the timepiece works.

By 1953, with colliders achieving ever-increasing energies, exotic particles not found in ordinary matter seemed to tumble out of thin air. More than 100 strongly interacting particles were detected, all thought at the time »



The Stanford Linear Accelerator in California, built in 1962, is 2 miles (3 km) long—the longest linear accelerator in the world. It was here, in 1968, that it was first demonstrated that protons are composed of quarks.

to be fundamental. This merry circus of new species was dubbed the "particle zoo."

The Eightfold Way

By the 1960s, scientists had grouped particles according to how they were affected by the four fundamental forces: gravity, electromagnetic force, and the weak and strong nuclear forces. All particles with mass are influenced by gravity. The electromagnetic force acts on any particle with an electric charge. The weak and strong forces operate over the miniscule ranges found within the atomic nucleus. Heavyweight particles called "hadrons," which include the proton and neutron, are "strongly interacting" and influenced by all four fundamental forces, while the lightweight "leptons," such as the electron and neutrino, are unaffected by the strong force.

Gell-Mann made sense of the particle zoo with an octet ordering system he called the "Eightfold Way," a pun on the Buddhist Noble Eightfold Path. Just as Mendeleev had done when arranging the chemical elements into a periodic table, Gell-Mann imagined a chart into which he placed the elementary particles, leaving spaces for as yet undiscovered pieces. In an effort to make the most economical design, he proposed that hadrons contained a new and as-yet-unseen fundamental subunit. Since the heavier particles were no longer fundamental, this change reduced the number of fundamental particles down to a manageable number—hadrons were now simply combinations of multiple elementary components. Gell-Mann, with his penchant for wacky names dubbed this particle a "quark" (pronounced "kwork"), after a favorite line from James Joyce's novel *Finnegans Wake*.



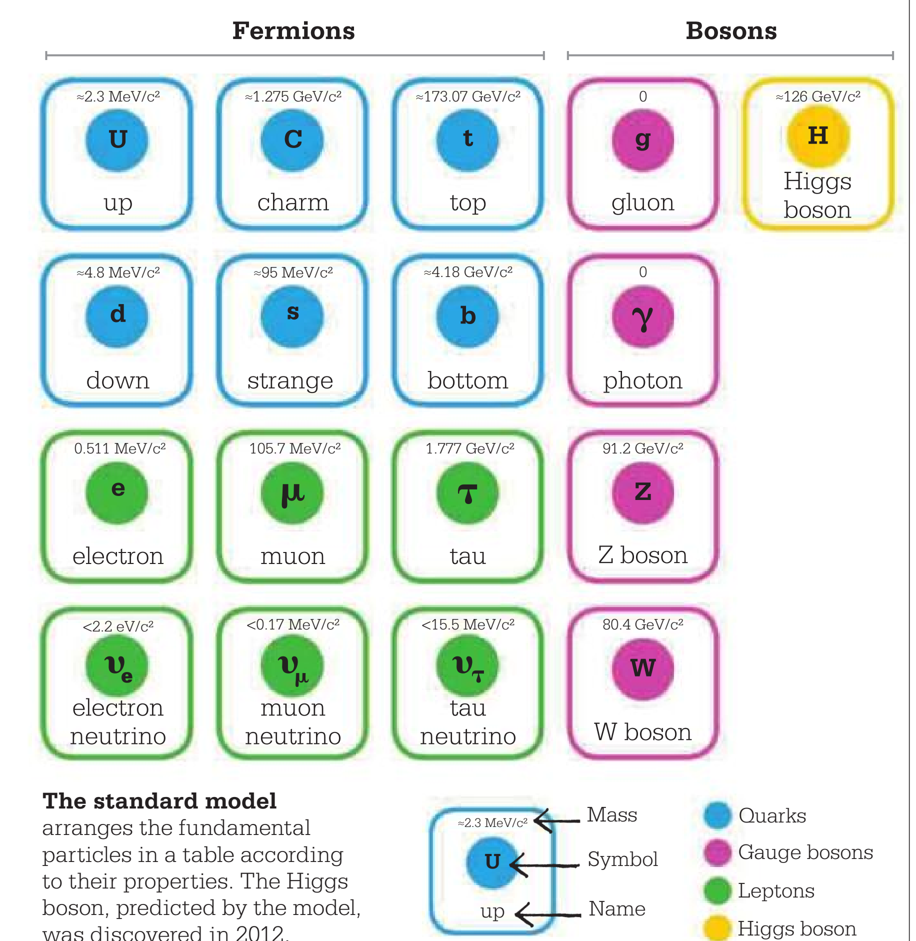
Three quarks for Muster Mark!
James Joyce



Real or not real?

Gell-Mann was not the only person to suggest this idea. In 1964, a student at Caltech, Georg Zweig, had suggested that hadrons were made of four basic parts, which he called "aces." The CERN journal *Physics Letters* refused Zweig's paper, but that same year published a paper by the more senior Gell-Mann outlining the same idea.

Gell-Mann's paper may have been published because he did not suggest that there was any underlying reality to the pattern—he was simply proposing an organizing design. However, this design appeared unsatisfactory, since it required quarks to have fractional charges, such as $-{}^{1}/_{3}$ and $+{}^{2}/_{3}$. These were nonsensical to



The standard model arranges the fundamental particles in a table according to their properties. The Higgs boson, predicted by the model, was discovered in 2012.

accepted theory, which only allowed for whole-number charges. Gell-Mann realized that if these subunits remained hidden, trapped inside hadrons, this didn't matter. The predicted omega particle (Ω–), made up of three quarks, was detected at Brookhaven National Laboratory, New York, soon after Gell-Mann's publication. This confirmed the new model, which Gell-Mann has insisted should be credited both to him and to Zweig.

Initially, Gell-Mann was doubtful that quarks could ever be isolated. However, he now emphasizes that although he initially saw his quarks as mathematical entities, he never ruled out the possibility that quarks might be real. Experiments at the Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) between 1967 and 1973 scattered electrons off hard granular particles within the proton, revealing the reality of quarks in the process.

The standard model

The standard model developed from Gell-Mann's quark model. In this model, particles are divided into fermions and bosons. Fermions are the building blocks of matter, while bosons are force-carrying particles.

The fermions are further split into two families of elementary particles—quarks and leptons. Quarks group together in twos and threes to make up the composite particles called hadrons. Subatomic particles with three quarks are known as baryons, and include protons and neutrons. Those made of a quark and antiquark pair are called mesons, and include pions and kaons. In total there are six quark "flavors"—up, down, strange, charm, top, and bottom. The defining characteristic of quarks is that they carry something called "color charge," which allows them to interact via the strong force. The leptons do not carry color charge and are not affected by the strong force. There are six leptons—the electron, muon, tau, and the electron, muon, and tau neutrinos. Neutrinos have no electrical charge and only interact via the weak force, making them extremely hard to detect. Each particle also has a corresponding "antiparticle" of antimatter.

The standard model explains forces at the subatomic level as the result of an exchange of force-carrying particles known as "gauge bosons." Each force has its own gauge boson: the weak force is mediated by the W+, W–, and Z bosons; the strong electromagnetic force by photons; and the strong force by gluons.

The standard model is a robust theory and has been verified by experiment, notably with the discovery of a Higgs boson—the particle that gives other particles mass—at CERN in 2012. However, many consider the model inelegant and there are problems with it, such as its failure to incorporate dark matter or explain gravity in terms of boson interaction. Other questions that remain unanswered are why there is a preponderance of matter (rather than antimatter) in the universe, and why there appear to be three generations of matter. ■



Our work is a delightful game.
Murray Gell-Mann





Murray Gell-Mann

Born in Manhattan, Murray Gell-Mann was a child prodigy. He taught himself calculus at 7 years old and entered Yale at 15. He earned a doctoral degree from the Massachusetts Institute of Technology (MIT), graduating in 1951, and then decamped to the California Institute of Technology (Caltech), where he worked with Richard Feynman to develop a quantum number called "strangeness." Japanese physicist Kazuhiko Nishijima had made the same discovery, but called it "eta-charge."

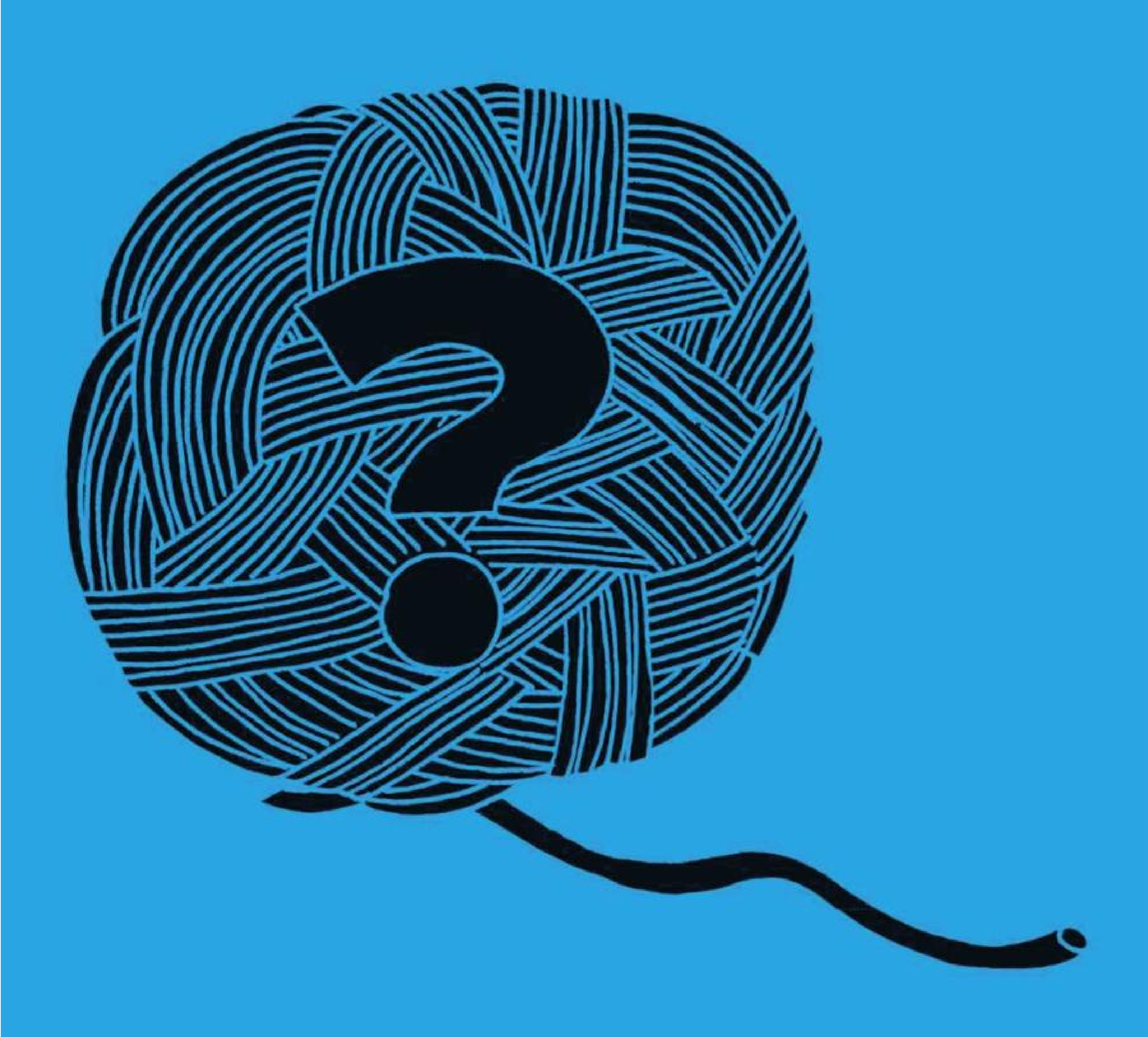
With wide-ranging interests and speaking some 13 languages fluently, Gell-Mann enjoys displaying his polymath's breadth of knowledge with plays on words and arcane references. He is perhaps the originator of the trend for giving new particles funny names. His discovery of the quark won him the 1969 Nobel Prize.

Key works

1962 *Prediction of the Ω– Particle*
1964 *The Eightfold Way: A Theory of Strong Interaction Symmetry*

A THEORY OF EVERYTHING?

GABRIELE VENEZIANO (1942–)



IN CONTEXT

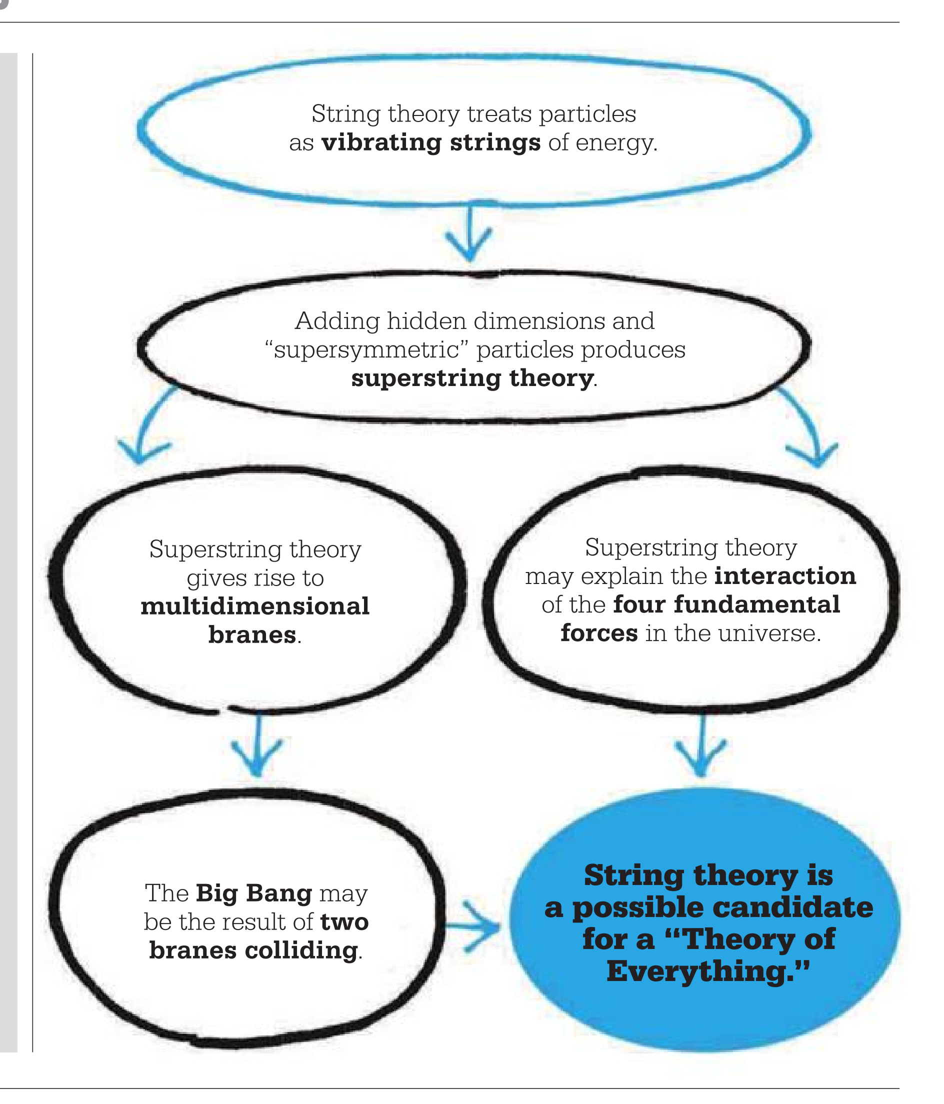
BRANCH
Physics

BEFORE
1940s Richard Feynman and other physicists develop quantum electrodynamics (QED), which describes quantum-level interactions due to the electromagnetic force.

1960s The standard model of particle physics reveals the full range of subatomic particles known so far and the interactions that affect them.

AFTER
1970s String theory falls out of favor temporarily as quantum chromodynamics appears to offer a better explanation of the strong nuclear force.

1980s Lee Smolin and Italian Carlo Rovelli develop the theory of loop quantum gravity, which removes the need to theorize hidden extra dimensions.



Put simply, string theory is the remarkable—and still controversial—idea that all matter in the universe is made up not of pointlike particles, but of tiny "strings" of energy. The theory lays out a structure that we cannot detect, but that explains all the phenomena that we see. Waves of vibration within these strings give rise to the quantized behaviors (discrete properties such as electric charge and spin) that are found in nature, and mirror the harmonics that can be produced, for example, by plucking a violin string.

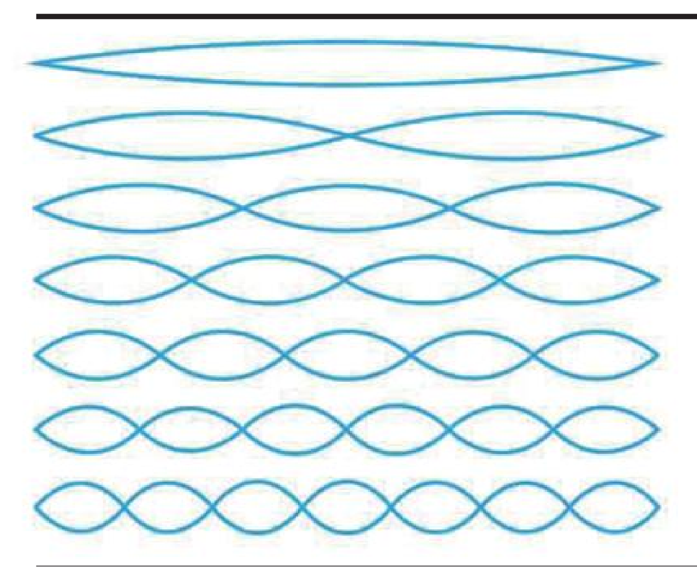
The development of string theory has had a long and bumpy road, and it is still not accepted by many physicists. But work on the theory continues—not least because it is currently the only theory trying to unite the "quantum gauge" theories of the electromagnetic, weak, and strong nuclear forces with Einstein's theory of gravity.

Explaining the strong force

String theory began life as a model to explain the strong force that binds together the particles in the nuclei of atoms, and the behavior of hadrons, the composite particles that are subject to the influence of the strong force.

In 1960, as part of an ongoing study of the properties of hadrons, American physicist Geoffrey Chew proposed a radical new approach—abandoning the preconception that hadrons were particles in the traditional sense, and modeling their interactions in terms of a mathematical object called an S-matrix. When Italian physicist Gabriele Veneziano investigated the results of Chew's model, he found patterns

See also: Albert Einstein 214–21 ▪ Erwin Schrödinger 226–33 ▪ Georges Lemaître 242–45 ▪ Paul Dirac 246–47 ▪ Richard Feynman 272–73 ▪ Hugh Everett III 284–85 ▪ Sheldon Glashow 292–93 ▪ Murray Gell-Mann 302–07



According to string theory, the quantized properties we observe arise when a string takes on different vibrational states, similar to the harmonic notes played on a violin.

suggesting that particles would appear at points along straight one-dimensional lines—the first hint of what we now call strings. In the 1970s, physicists continued to map these strings and their behavior, but their work began to bring up annoyingly complex and counterintuitive results. For example, particles have a property called spin (analogous to angular momentum), which can only take certain values. The initial drafts of string theory could produce bosons (particles with zero or whole-number spins, typically the "messenger" particles in models of quantum forces), but not fermions (particles with half-integer spins, including all matter particles). The theory also predicted the existence of particles that move faster than the speed of light, thus traveling backward in time.

One final complication was that the theory could not properly work without assuming the existence of no fewer than 26 separate dimensions (instead of the usual four—three dimensions of space, plus time). The concept of extra dimensions had been around for a long time: German mathematician Theodor Kaluza had attempted to unify electromagnetism and gravity through the use of an extra (fifth) dimension. This was not a problem mathematically, but did pose the question as to why we do not experience all dimensions. In 1926, Swedish physicist Oscar Klein explained how such extra dimensions might remain invisible on everyday macroscopic scales by suggesting they might "roll up" into quantum-scale loops.

String theory suffered a fall from grace in the mid-1970s. The theory of quantum chromodynamics (QCD), which introduced the concept of "color charge" for quarks to explain their interaction via the strong nuclear force, offered a much better description. But »



String theory is an attempt at a deeper description of nature by thinking of an elementary particle not as a little point but as a little loop of vibrating string.
Edward Witten



Gabriele Veneziano

Born in Florence, Italy, in 1942, Gabriele Veneziano studied in his home city before obtaining his PhD from Israel's Weizmann Institute of Science, where he returned in 1972 as professor of physics following some time at the European particle physics laboratory CERN. While at the Massachusetts Institute of Technology (MIT) in 1968, he hit upon string theory as a model for describing the strong nuclear force, and began to pioneer research into the topic.

From 1976 onward, Veneziano worked mainly at CERN's Theory Division in Geneva, rising to become its director between 1994 and 1997. Since 1991, he has focused on investigating how string theory and QCD can help to describe the hot, dense conditions just after the Big Bang.

Key work

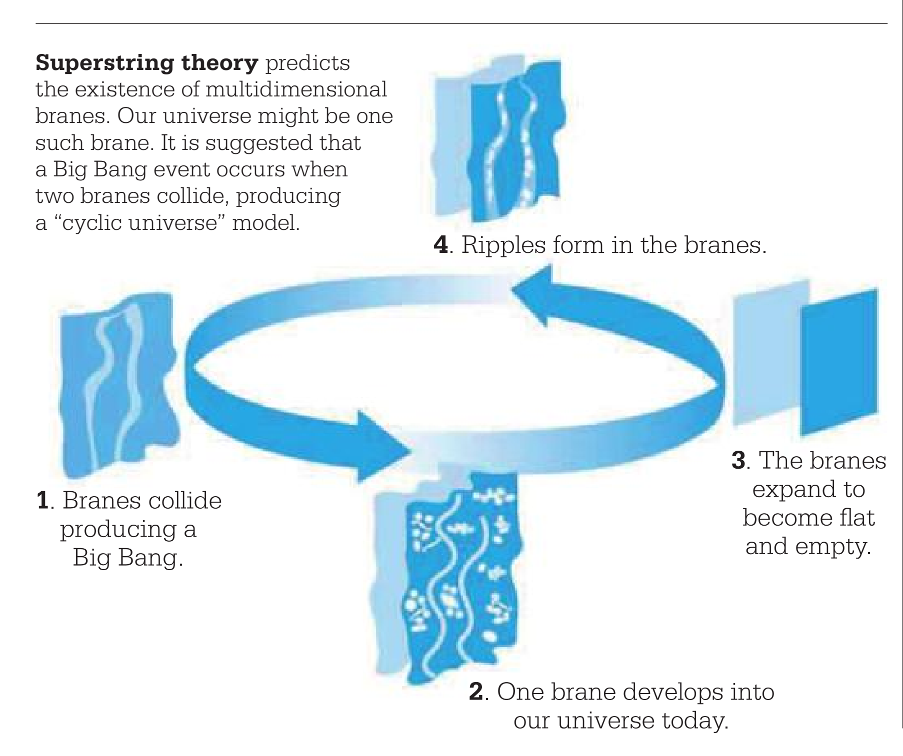
1968 *Construction of a Cross-Symmetric, Regge-behaved Amplitude for Linearly Rising Trajectories*

even before this, some scientists had been murmuring that the theory was conceptually flawed. The more work they did, the more it seemed as though strings were not describing the strong force at all.

The rise of superstrings

Groups of physicists continued to work on string theory, but they needed to find solutions to some of its problems before the wider scientific community would take it seriously again. A breakthrough came in the early 1980s with the idea of supersymmetry. This is the suggestion that each of the known particles found in the standard model of particle physics (pp.302–05) has an undiscovered "superpartner"—a fermion to match every boson, and a boson to match every fermion. If this were the case, then many of the outstanding problems with strings would promptly vanish, and the number of dimensions required to describe them would be reduced to ten. The fact that these additional particles remain undetected might be due to the fact that they are only capable of independent existence at energies far above those produced in even the most powerful modern particle accelerators.

This revised "supersymmetric string theory" soon became known more simply as "superstring theory." However, major issues remained—particularly the fact that five rival interpretations of superstrings emerged. Evidence also began to mount that superstrings should give rise not only to 2-dimensional strings and 1-dimensional points, but also to multidimensional structures, collectively known as "branes." Branes can be thought of as analogous to 2-dimensional membranes moving in our 3-dimensional world: similarly, a 3-dimensional brane could move in a 4-dimensional space.



Superstring theory predicts the existence of multidimensional branes. Our universe might be one such brane. It is suggested that a Big Bang event occurs when two branes collide, producing a "cyclic universe" model.



String theory envisions a multiverse in which our universe is one slice of bread in a big cosmic loaf. The other slices would be displaced from ours in some extra dimension of space.

Brian Greene



M-theory

In 1995, US physicist Edward Witten presented a new model known as M-theory, which offered a solution to the problem of competing superstring theories. He added a single additional dimension, bringing the total up to 11, and this allowed all five superstring approaches to be described as aspects of a single theory. The 11 dimensions of space-time required by M-theory mirrored the 11 dimensions required by then-popular models of "supergravity" (supersymmetric gravity). According to Witten's theory, the seven additional dimensions of space required would be "compactified"—curled up into tiny structures analogous to spheres that would effectively act and appear as points on all but the most microscopic of scales.

The major problem of M-theory, however, is that the detail of the theory itself is currently unknown. Rather, it is a prediction of the existence of a theory with certain characteristics that would neatly fulfill a number of observed or predicted criteria.

Despite its current limitations, M-theory has proved a huge inspiration to various fields of physics and cosmology. Black hole singularities can be interpreted as string phenomena, as can the early stages of the Big Bang. One intriguing upshot of M-theory is the "cyclic universe" model proposed by cosmologists such as Neil Turok and Paul Steinhardt. In this theory, our universe is just one of many separate branes separated from each other by minute distances in 11-dimensional space-time, and drifting minutely in relation to one another on trillion-year time scales. Collisions between branes, it has been argued, could result in huge releases of energy and trigger new Big Bangs.

Theories of everything

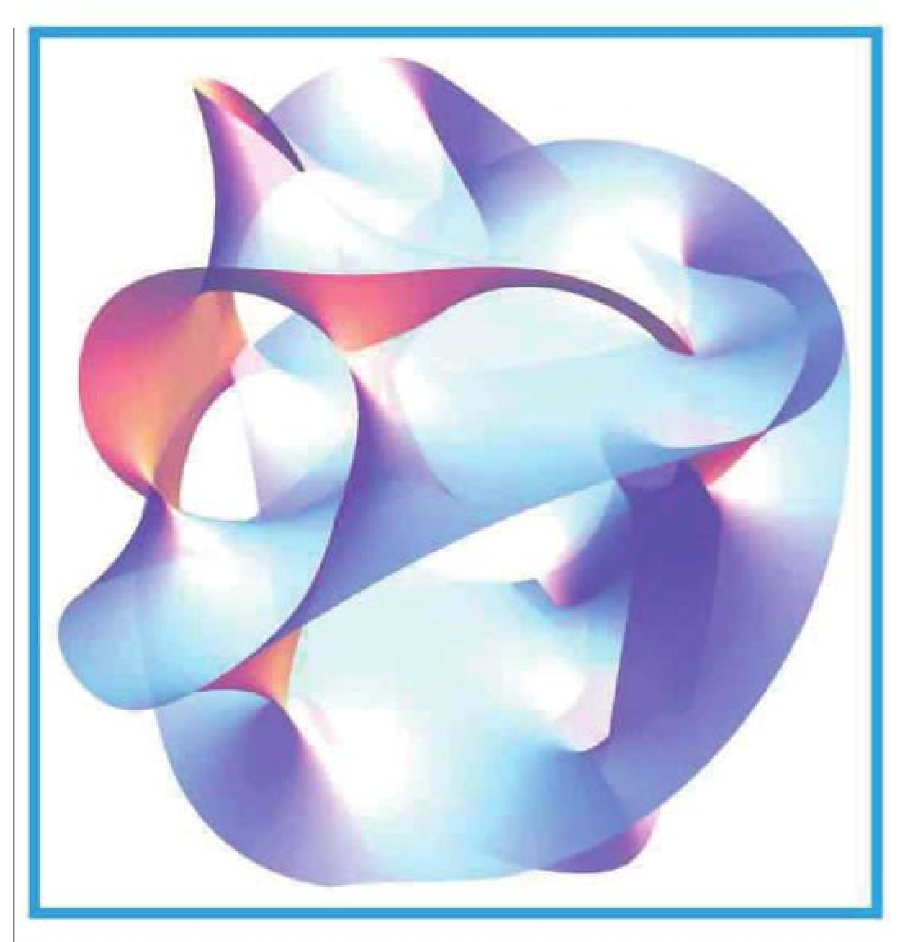
M-theory has been proposed as a possible "Theory of Everything"—a means of uniting the quantum field theories that successfully describe electromagnetism and the weak and strong nuclear forces with the description of gravity provided by Einstein's general theory of relativity. Hitherto, a quantum description of gravitation has remained elusive. Gravity appears to be radically different in nature from the other three forces. These three forces all act between individual particles but only on relatively small scales, while gravity is insignificant except when huge numbers of particles conglomerate, but acts across enormous distances. One possible explanation of gravity's unusual behavior is that its influence at the quantum level may "leak out" into the higher dimensions, so that only a small fraction is perceived within the familiar dimensions of our universe.

String theory is not the only candidate for a Theory of Everything. Loop quantum gravity (LQG) was developed by Lee Smolin and Carlo Rovelli from the late 1980s. In this theory, the quantized properties of particles arise not from their stringlike nature, but rather from the small-scale structure of space-time itself, which is quantized into tiny loops. LQG and its various developments offer several intriguing advantages over string theory, removing the need for additional dimensions, and it has been applied successfully to several major cosmological problems. However, the case for either string particles or looped space-time as the "Theory of Everything" remains inconclusive. ■

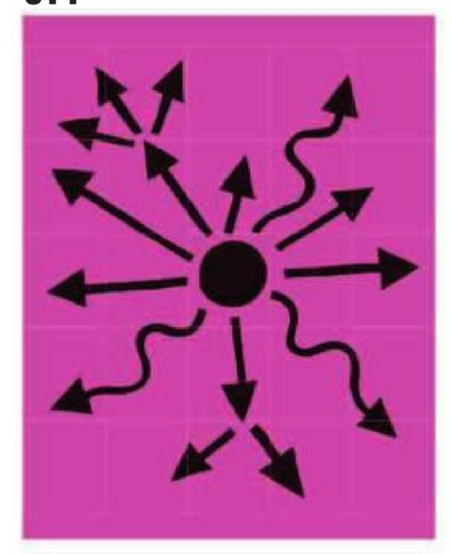


If string theory is a mistake, it's not a trivial mistake. It's a deep mistake and therefore kind of worthy.
Lee Smolin





This is a 2-dimensional slice of a 6-dimensional mathematical structure called a Calabi-Yau manifold. It is suggested that string theory's six hidden dimensions may take this form.



BLACK HOLES EVAPORATE

STEPHEN HAWKING (1942–)

IN CONTEXT

BRANCH
Cosmology

BEFORE
1783 John Michell theorizes objects whose gravity is so great that they trap light.

1930 Subrahmanyan Chandrasekhar proposes that a collapsing stellar core above a certain mass would give rise to a black hole.

1971 The first likely black hole is identified—Cygnus X-1.

AFTER
2002 Observations of stars orbiting close to the center of our galaxy suggest the presence of a giant black hole.

2012 American string theorist Joseph Polchinski suggests that quantum entanglement produces a super-hot "firewall" at a black hole's event horizon.

2014 Hawking announces that he no longer thinks black holes can exist.

In the 1960s, British physicist Stephen Hawking was one among several brilliant researchers who became interested in the behavior of black holes. He wrote his doctoral thesis on the cosmological aspects of a singularity (the point in space-time at which all of a black hole's mass is concentrated), and drew parallels between the singularities of stellar-mass black holes and the initial state of the universe during the Big Bang.



My goal is simple. It is a complete understanding of the universe, why it is as it is and why it exists at all.
Stephen Hawking



Around 1973, Hawking became interested in quantum mechanics and the behavior of gravity on a subatomic scale. He made an important discovery—that despite their name, black holes do not just swallow up matter and energy but emit radiation. So-called Hawking radiation is emitted at the black hole's event horizon—the outer boundary at which the black hole's gravity becomes so strong that not even light can escape. Hawking showed that in the case of a rotating black hole, the intense gravity would give rise to the production of virtual, subatomic particle-antiparticle pairs. On the event horizon, it would be possible for one element of each pair to be pulled into the black hole, effectively boosting the survivor into a sustained existence as a real particle. The result of this to a distant observer is that the event horizon emits low-temperature thermal radiation. Over time, the energy carried away by this radiation causes the black hole to lose mass and evaporate away. ■

See also: John Michell 88–89 ▪ Albert Einstein 214–21 ▪ Subrahmanyan Chandrasekhar 248



EARTH AND ALL ITS LIFE FORMS MAKE UP A SINGLE LIVING ORGANISM CALLED GAIA

JAMES LOVELOCK (1919–)

IN CONTEXT

BRANCH
Biology

BEFORE
1805 Alexander von Humboldt declares that nature can be represented as one whole.

1859 Charles Darwin argues that life forms are shaped by their environment.

1866 German naturalist Ernst Haeckel coins the term ecology.

1935 British botanist Arthur Tansley describes Earth's life forms, landscape, and climate as a giant ecosystem.

AFTER
1970s Lynn Margulis describes the symbiotic relationship of microbes and Earth's atmosphere; she later defines Gaia as a series of interacting ecosystems.

1997 The Kyoto Protocol sets targets for the reduction of greenhouse gases.

During the early 1960s, a team was assembled by NASA in Pasadena, California, to think about how to look for life on Mars. British environmental scientist James Lovelock was asked how he would tackle the problem, which prompted him to think about life on Earth.

Lovelock soon discovered a range of necessary features for life. All life on Earth depends on water. The average surface temperature must stay within 50–60°F (10–16°C) for enough liquid water to be present, and it has remained within this range for 3.5 million years. Cells require a constant level of salinity and generally cannot survive levels above 5 percent, and ocean salinity has remained at about 3.4 percent. Since oxygen first appeared in the atmosphere, about two billion years ago, its concentration has remained close to 20 percent. If it were to drop below 16 percent, there would not be enough to breathe—if it rose to 25 percent, forest fires would never go out.



Evolution is a tightly coupled dance, with life and the material environment as partners. From the dance emerges the entity Gaia.
James Lovelock



The Gaia hypothesis

Lovelock suggested that the entire planet makes up a single, self-regulating, living entity, which he called Gaia. The very presence of life itself regulates the temperature of the surface, the concentration of oxygen, and the chemical composition of the oceans, optimizing conditions for life. However, he warned that human impact on the environment may disrupt this delicate balance. ■

See also: Alexander von Humboldt 130–35 ■ Charles Darwin 142–49 ■ Charles Keeling 294–95 ■ Lynn Margulis 300–01



A CLOUD IS MADE OF BILLOWS UPON BILLOWS

BENOÎT MANDELBROT (1924–2010)

IN CONTEXT

BRANCH
Mathematics

BEFORE
1917–20 In France, Pierre Fatou and Gaston Julia build mathematical sets using complex numbers—that is, combinations of real and imaginary numbers (multiples of the square root of –1). The resulting sets are either "regular" (Fatou sets) or "chaotic" (Julia sets) and are the precursors of fractals.

1926 British mathematician and meteorologist Lewis Fry Richardson publishes *Does the Wind Possess a Velocity*, pioneering mathematical models for chaotic systems.

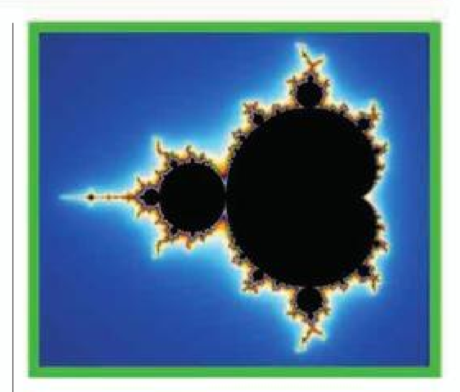
AFTER
Present-day Fractals form part of the field of complexity science. They are used in marine biology, earthquake modeling, population studies, and oil and fluid mechanics.

Belgian mathematician Benoît Mandelbrot used computers to model the patterns in nature in the 1970s. In doing so, he launched a new field of mathematics—fractal geometry—which has since found uses in many fields.

Fractional dimensions

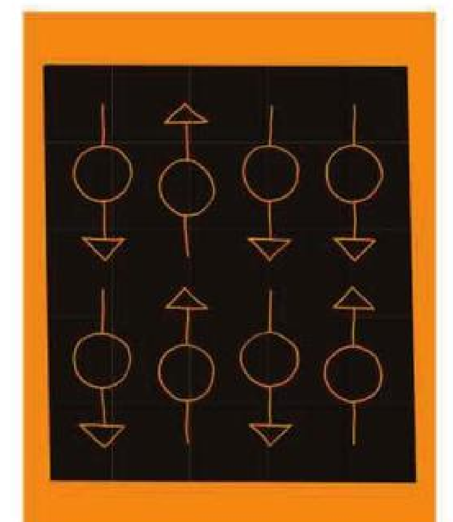
Whereas conventional geometry uses whole-number dimensions, fractal geometry employs fractional dimensions, which can be thought of as a "roughness measure." To understand what this means, think of measuring Britain's coastline with a stick. The longer the stick, the shorter the measurement, as it will smooth out any roughness along its length. The British coast has a fractional dimension of 1.28, which is an index of how much the measurement increases as the length of the stick decreases.

A characteristic of fractals is self-similarity—meaning that there is an equal amount of detail at all scales of magnification. The fractal nature of clouds, for example, makes it impossible to tell how close they are to us without external clues—clouds look the same from all distances. Our bodies contain many examples of fractals, such as the way the lungs branch out to fill space efficiently. Like chaotic functions, fractals show sensitivity to small changes in initial conditions, and they are used to analyze chaotic systems such as the weather. ■



The Mandlebrot set is a fractal generated using a set of complex numbers, and conceals limitless representations of itself at every scale. When visualized graphically, it produces the distinctive shape shown here.

See also: Robert FitzRoy 150–55 ■ Edward Lorenz 296–97



A QUANTUM MODEL OF COMPUTING

YURI MANIN (1937–)

IN CONTEXT

BRANCH
Computer science

BEFORE
1935 Albert Einstein, Boris Podolsky, and Nathan Rosen develop the "EPR paradox," providing the first description of quantum entanglement.

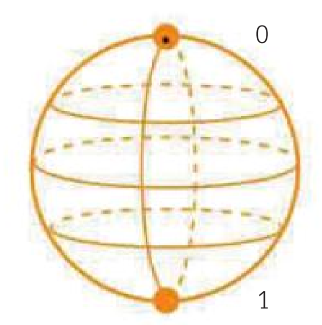
AFTER
1994 American mathematician Peter Shor develops an algorithm that can achieve the factorization of numbers using quantum computers.

1998 Using Hugh Everett's many-worlds interpretation of quantum mechanics, theorists imagine a superposition state in which a quantum computer is both on and off.

2011 A research team from the University of Science and Technology in Hefei, China, correctly finds the prime factors of 143 using a quantum array of four qubits.

Quantum information processing is one of the newest fields in quantum mechanics. It operates in a fundamentally different way from conventional computing. The Russian-German mathematician Yuri Manin was among the very first pioneers developing the theory.

The bit is the fundamental carrier of information in a computer, and can exist in two states: 0 and 1. The fundamental unit of information in quantum computing is called a qubit. It is made of "trapped" subatomic particles, and also has two possible states. An electron, for example, can be spin-up or spin-down, and photons of light can be polarized horizontally or vertically. However, the quantum mechanical wave function allows qubits to exist in a superposition of both states, increasing the amount of information that they can carry. Quantum theory also permits qubits to become "entangled," which exponentially increases the data carried with each additional qubit. This parallel processing could theoretically produce extraordinary computing power.

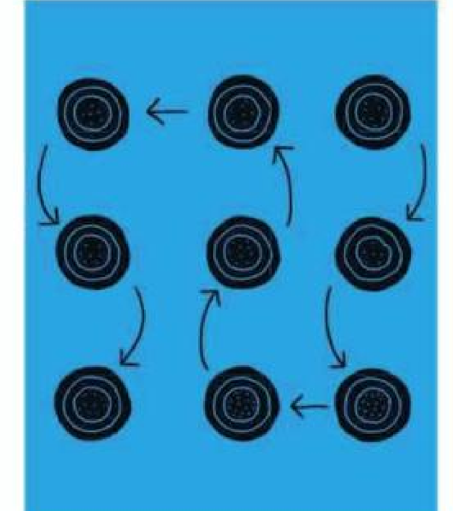


The information on a qubit can be represented as any point on the surface of a sphere—a 0, a 1, or a superposition of the two.

Demonstrating the theory

First aired in the 1980s, quantum computers seemed just theoretical. However, calculations have recently been achieved on arrays with only a few qubits. To provide a useful machine, quantum computers must achieve hundreds or thousands of entangled qubits, and there are problems scaling up to this size. Work on these problems continues. ■

See also: Albert Einstein 214–21 ▪ Erwin Schrödinger 226–33 ▪ Alan Turing 252–53 ▪ Hugh Everett III 284–85



GENES CAN MOVE FROM SPECIES TO SPECIES

MICHAEL SYVANEN (1943–)

IN CONTEXT

BRANCH
Biology

BEFORE
1928 Frederick Griffith shows that one strain of bacteria can be transformed into another, by the transfer of what is later found to be DNA.

1946 Joshua Lederberg and Edward Tatum discover the natural exchange of genetic material in bacteria.

1959 Tomoichiro Akiba and Kunitaro Ochia report that antibiotic-resistant plasmids (rings of DNA) can move between bacteria.

AFTER
1993 American geneticist Margaret Kidwell identifies instances where genes have crossed species boundaries in complex organisms.

2008 American biologist John K. Pace and others present evidence of horizontal gene transfer in vertebrates.

Heat-killed **bacteria** can **transfer their characteristics** to living bacteria.

This happens because **genes can move** between bacterial cells.

Similar genes have been identified in **distantly related species** of organisms, including vertebrates.

Genes can move from species to species.

The continuity of life—the growth, reproduction, and evolution of organisms—is widely seen as a vertical process, driven by genes passed down from parents to offspring. But in 1985, American microbiologist Michael Syvanen proposed that, rather than being simply passed down, genes could also be passed horizontally between species, independently of reproduction, and that horizontal gene transfer (HGT) plays a key role in evolution.

Back in 1928, British physician Frederick Griffith was studying the bacteria implicated in pneumonia. He found that a harmless strain could be made dangerous simply by mixing its living cells with the dead remnants of a heat-killed virulent one. He attributed his results to a transforming "chemical principle" that had leaked from the dead cells into the living ones. A quarter of a century before DNA's structure was unlocked by James Watson and Francis Crick, Griffith

See also: Charles Darwin 142–49 ▪ Thomas Hunt Morgan 224–25 ▪ James Watson and Francis Crick 276–83 ▪ William French Anderson 322–23



The flow of genes between different species represents a form of genetic variation whose implications have not been fully appreciated.
Michael Syvanen



had found the first evidence that DNA could pass horizontally between cells of the same generation, as well as vertically between generations.

In 1946, American biologists Joshua Lederberg and Edward Tatum demonstrated that bacteria exchange genetic material as part of their natural behavior. In 1959, a team of Japanese microbiologists led by Tomoichiro Akiba and Kunitaro Ochia showed that this kind of DNA transfer explains how resistance to antibiotics can spread through bacteria so quickly.

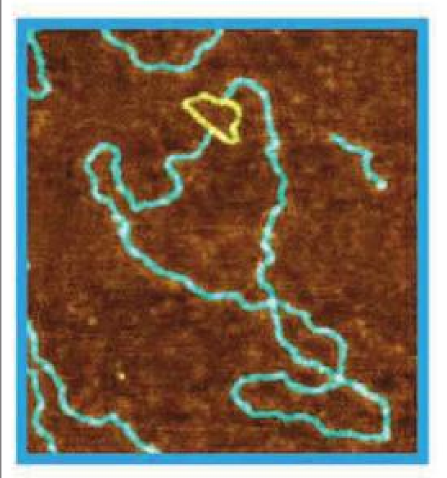
Transforming microbes

Bacteria have small, mobile rings of DNA called plasmids that pass from cell to cell when they come into direct contact—taking their genes with them. Some bacteria contain genes that make them resist the action of certain types of antibiotics. The genes are copied whenever the DNA replicates, and can spread through a population of bacteria as the DNA is transferred. This sort of horizontal gene transfer can also happen via viruses, as Lederberg's student Norton Zinder discovered. Viruses are even smaller than bacteria and can invade living cells—including bacteria. They may interfere with the host genes, and when they move from host to host, they may take host genes with them.

Genes for development

From the mid-1980s, Syvanen set HGT in a wider context. He noted similarities in how the development of embryos is genetically controlled at a cellular level—even between distantly related species—and attributed this to genes moving between different organisms in evolutionary history. He argued that the genetic control of animal development had evolved to be similar in different groups because this maximized the chances that gene-swapping would work.

As genome sequences are completed for more species, and as the fossil record is reexamined, evidence suggests that HGT may occur in not only microbes but also more complex organisms, in both plants and animals. Darwin's tree of life may look more like a net, with multiple ancestors rather than a last universal common ancestor. With potential implications for taxonomy, disease and pest control, and genetic engineering, HGT's full significance is still unfolding. ■



DNA plasmids, colored blue in this micrograph, are independent of a cell's chromosomes, yet they can replicate genes and be used to insert new genes into organisms.

Michael Syvanen

Michael Syvanen trained in chemistry and biochemistry at the University of Washington and the University of California at Berkeley before going on to specialize in the field of microbiology. He was appointed professor of microbiology and molecular genetics at Harvard Medical School in 1975, where he conducted research in the development of antibiotic resistance in bacteria, and insecticide resistance in flies. His findings led him to publish his theory of horizontal gene transfer (HGT) and its role in adaptation and evolution.

Since 1987, Syvanen has been professor of medical microbiology and immunology at the School of Medicine in the University of California at Davis.

Key works

1985 *Cross-species Gene Transfer: Implications for a New Theory of Evolution*
1994 *Horizontal Gene Transfer: Evidence and Possible Consequences*



THE SOCCER BALL CAN WITHSTAND A LOT OF PRESSURE

HARRY KROTO (1939–)

IN CONTEXT

BRANCH
Chemistry

BEFORE
1966 British chemist David Jones predicts the creation of hollow carbon molecules.

1970 Scientists in Japan and Britain independently predict the existence of the carbon-60 (C_{60}) molecule.

AFTER
1988 C_{60} is found in soot from candles.

1993 German physicist Wolfgang Krätschmer and American physicist Don Huffman develop a method for synthesizing "fullerenes."

1999 Austrian physicists Markus Arndt and Anton Zeilinger demonstrate that C_{60} has wavelike properties.

2010 The spectrum of C_{60} is seen in cosmic dust 6,500 light years from Earth.

We've made a **molecule** that is so **tough** and **resilient** that…

…it has **multiple applications** in many fields of technology and medicine.

It is shaped like a soccer ball.

The soccer ball can withstand a lot of pressure.

For more than two centuries, scientists thought that elemental carbon (C) existed in only three forms, or allotropes: diamond, graphite, and amorphous carbon—the main constituent of soot and charcoal. That changed in 1985 with the work of British chemist Harry Kroto and his American colleagues Robert Curl and Richard Smalley. The chemists vaporized graphite with a laser beam to produce various carbon clusters, forming molecules with an even number of carbon atoms. The most abundant clusters had the formulae C_{60} and C_{70}. These were molecules that had never been seen before.

C_{60} (or carbon-60) soon turned out to have remarkable properties. The chemists realized that it had a structure like a soccer ball—a complete spherical cage of carbon

See also: August Kekulé 160–65 ▪ Linus Pauling 254–59

atoms, each bonded to three others in such a way that all the faces of the polyhedron are either pentagons or hexagons. C_{70} is more like a football; it has an extra ring of carbon atoms around its equator.

Both C_{70} and C_{60} reminded Kroto of the futuristic geodesic domes designed by American architect Buckminster Fuller, so he named the compounds buckminsterfullerene, but they are also called buckyballs, or fullerenes.

Properties of buckeyballs

The team found that the C_{60} compound was stable and could be heated to high temperatures without decomposing. It turned into a gas at about 1,202°F (650°C). It was odorless, and was insoluble in water, but slightly soluble in organic solvents. The buckyball is also one of the largest objects ever found to exhibit the properties both of a particle and of a wave. In 1999, Austrian researchers sent molecules of C_{60} through narrow slits and observed the interference pattern of wavelike behavior.

Solid C_{60} is as soft as graphite, but when highly compressed, it changes into a superhard form of diamond. The soccer ball, it seems, can withstand a lot of pressure.

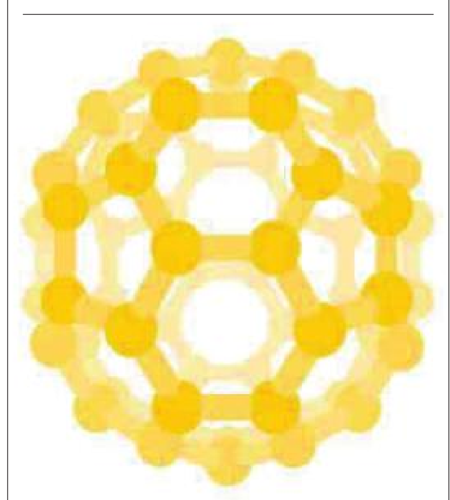
Pure C_{60} is a semiconductor of electricity, meaning that its conductivity is between that of an insulator and a conductor. But when atoms of alkali metals such as sodium or potassium are added to it, it becomes a conductor, and even a superconductor at low temperatures, conducting electricity with no resistance at all.

C_{60} also undergoes a wide variety of chemical reactions, resulting in huge numbers of products (chemical substances) whose properties are still being studied.

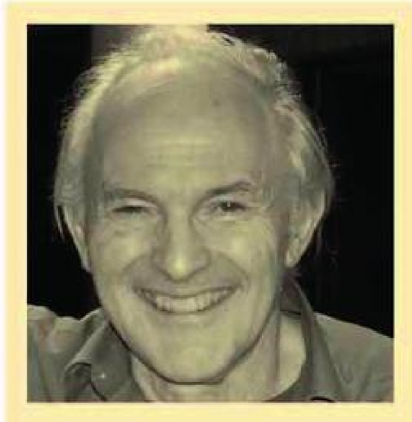
The new world of nano

Although C_{60} was the first of these molecules to be studied, its discovery has led to an entire new branch of chemistry—the study of fullerenes. Nanotubes have been made—cylindrical fullerenes, only a few nanometers wide, but up to several millimeters long. They are good conductors of heat and electricity, chemically inactive, and enormously strong, which makes them hugely useful for engineering.

There are many others that are being studied for everything from electrical properties to medical treatments for cancer to HIV. The latest spin-off from the fullerenes is graphene, a flat sheet of carbon atoms, like a single layer of graphite. This substance has remarkable properties that are being hotly studied. ■



Each carbon atom of a C_{60} molecule bonds to three others. The molecule has 32 faces in total, 12 of which are pentagons and 20 hexagons, forming a distinctive, soccer-ball shape.



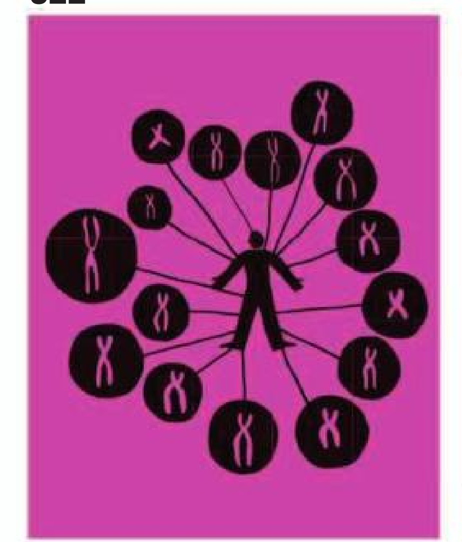
Harry Kroto

Harold Walter Krotoschiner was born in Cambridgeshire, England, in 1939. Fascinated by the toy building set Meccano, he chose to study chemistry, and became a professor at Sussex University in 1975. He was interested in looking into space for compounds with multiple carbon-carbon bonds, such as H-C≡C-C≡C-C≡N, and found evidence using spectroscopy (studying the interaction between matter and radiated energy). When he heard of the laser spectroscopy work of Richard Smalley and Robert Curl at Rice University, he joined them in Texas, and together they discovered C_{60}. Since 2004, Kroto has worked on nanotechnology at Florida State University.

In 1995, he set up the Vega Science Trust to make science movies for education and training. They are freely available on the Internet at www.vega.org.uk.

Key works

1981 *The Spectra of Interstellar Molecules*
1985 *60:Buckminsterfullerene* (with Heath, O'Brien, Curl, and Smalley)



INSERT GENES INTO HUMANS TO CURE DISEASE

WILLIAM FRENCH ANDERSON (1936–)

IN CONTEXT

BRANCH
Biology

BEFORE
1984 US researcher Richard Mulligan uses a virus as a tool for inserting genes into cells taken from mice.

1985 William French Anderson and Michael Blaese show this technique can be used to correct defective cells.

1989 Anderson performs the first safety test in human gene therapy, injecting a harmless marker into a 52-year-old man. He performs the first clinical trial a year later.

AFTER
1993 UK researchers describe the results of successful animal experiments providing gene therapy treatment of cystic fibrosis.

2012 The first multidose trial of cystic fibrosis gene therapy on humans begins.

Many **diseases** are inherited and are **caused by defective genes**.

↓

Functional genes can be isolated from normal cells using enzymes that cut DNA.

↓

Genes can be transferred between cells by using vectors: viruses or rings of DNA called plasmids.

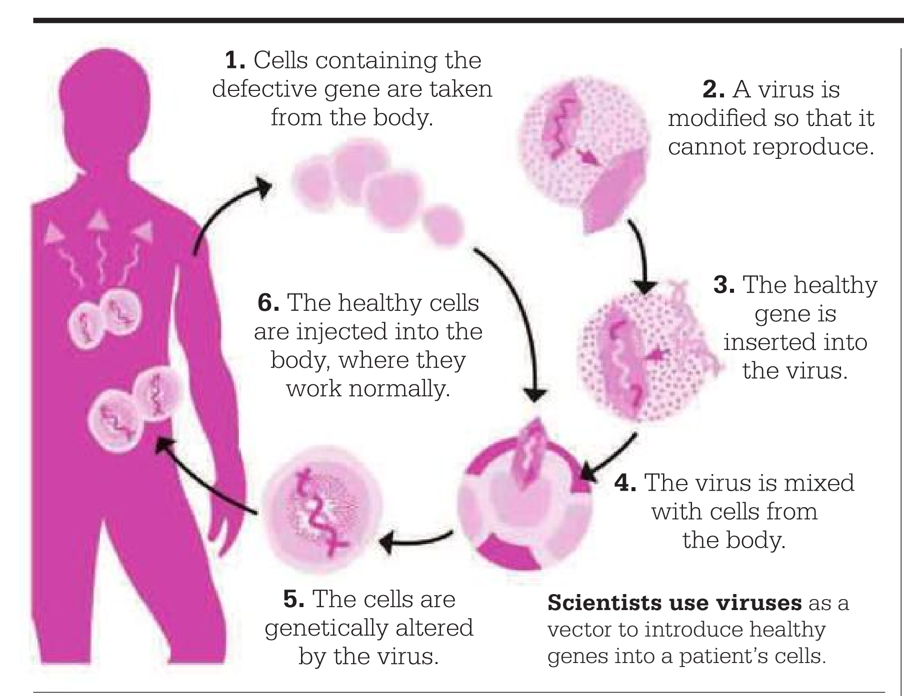
↓

Genes can be inserted into humans to cure disease.

The human genome—the entirety of a human's hereditary information—consists of about 20,000 genes. A gene is a living organism's molecular unit of heredity. However, genes often malfunction. A defective gene is made when a normal gene is not copied properly, and the "error" is passed down from parents to offspring. The symptoms that arise from these so-called genetic diseases depend upon the gene involved. A gene works by controlling the production of a protein—one of many that perform a vast variety of functions in living organisms—but this production fails if there is an error. For example, if a blood-clotting gene malfunctions, the body stops producing the blood protein that makes blood clot—causing the disease hemophilia.

Genetic diseases cannot be cured by conventional drugs, and for a long time, it was only possible to alleviate the symptoms and make a sufferer's life as comfortable as possible. But in the 1970s, scientists began considering the possibility of "gene therapy" to cure disease—using "healthy" genes to replace or override faulty ones.

See also: Gregor Mendel 166–71 ▪ Thomas Hunt Morgan 224–25 ▪ Craig Venter 324–25 ▪ Ian Wilmut 326



Scientists use viruses as a vector to introduce healthy genes into a patient's cells.

Introducing new genes

Genes can be introduced into diseased parts of the body by a vector—a particle that "carries" the gene to its source. Researchers investigated several possibilities for entities that might act as a vector—including viruses, which are more normally associated with causing disease, rather than fighting it. Viruses naturally invade living cells as part of their infection cycle, but could they perhaps carry the therapeutic genes with them?

In the 1980s, a team of American scientists including William French Anderson succeeded in using viruses to insert genes into cultured (laboratory-grown) tissue. They tested it on animals that suffered from a genetic immune deficiency disease. The goal was to get the therapeutic gene into the animals' bone marrow, which would then make healthy red blood cells and cure the deficiency. The test was not very effective, although the procedure worked better when white blood cells were targeted.

In 1990, however, Anderson performed the first clinical trial, treating two girls who both suffered from the same immune deficiency condition, known as bubble-boy disease. Sufferers of this condition are so susceptible to infection that they may have to spend their whole lives in a sterile environment, or "bubble."

Anderson's team took sample cells from the two girls, treated them with the gene-carrying virus, then transfused the cells back into the girls. The treatment was repeated several times over two years—and it worked. However, its effects were only temporary, since new cells made by the body would still inherit the malfunctioning gene. This remains a central problem for gene therapy researchers today.



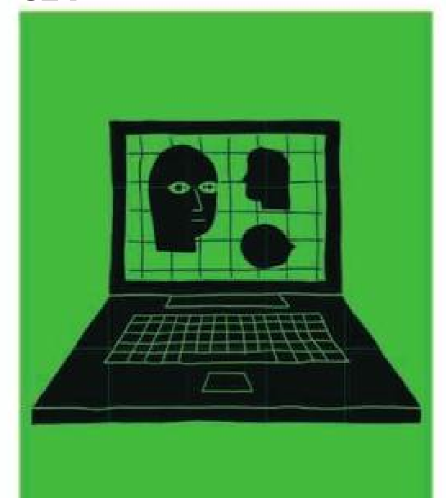
Gene therapy is ethical because it can be supported by the fundamental moral principle of beneficence: it would relieve human suffering.
William French Anderson



Future prospects

Remarkable breakthroughs have been made in the treatment of other conditions. In 1989, scientists working in the US identified the gene that causes cystic fibrosis. In this condition, defective cells produce sticky mucus that clogs lungs and the digestive system. Within five years of identifying the defective gene responsible, a technique had been developed to deliver healthy genes using liposomes—a type of oily droplet—as a vector. Results from the first clinical trial are due in 2014.

Considerable challenges still remain to be overcome to extend gene therapy. Cystic fibrosis is caused by a defect in just one gene. However, many conditions with a genetic component—such as Alzheimer's, heart disease, and diabetes—are caused by the interplay of many different genes. Such conditions are far harder to treat, and the search for successful, safe gene therapies is ongoing. ■



DESIGNING NEW LIFE FORMS ON A COMPUTER SCREEN

CRAIG VENTER (1946–)

IN CONTEXT

BRANCH
Biology

BEFORE
1866 Gregor Mendel shows that the inherited traits in pea plants follow certain patterns.

1902 American biologist and physician Walter Sutton suggests that chromosomes are the carriers of heredity.

1910–11 Thomas Hunt Morgan proves Sutton's theory in fruit fly experiments.

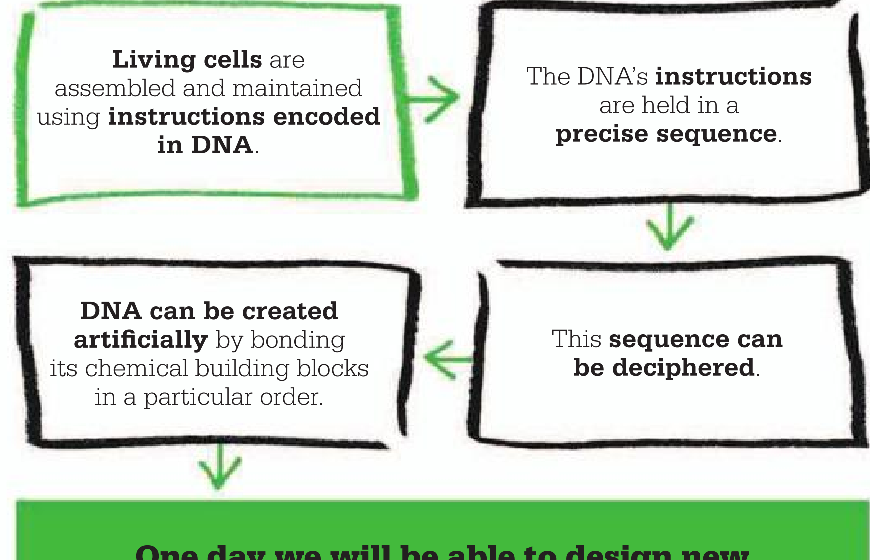
1953 Francis Crick and James Watson reveal how DNA carries genetic instructions.

1995 A bacterium's genome (complete set of genes) is the first to be sequenced.

2000 The human genome is first sequenced.

2007 Craig Venter synthesizes an artificial chromosome.

AFTER
2010 Venter announces the first synthesis of a life form.



In May 2010, an American team of scientists led by biologist Craig Venter created the first wholly artificial life form. The organism—a single-celled bacterium—was assembled from its raw chemical building blocks. This was a testament to the advance in our understanding of the nature of life itself. The dream of creating life is nothing new. In 1771, Luigi Galvani used electricity to make a dissected frog's leg twitch, inspiring novelist Mary Shelley to write *Frankenstein*. But scientists gradually realized that life depends less on a physical "spark" and more on the chemical processes taking place inside cells.

By the mid-1950s, the real secret of life had been found in a molecule called deoxyribonucleic acid, or

See also: Gregor Mendel 166–71 ■ Thomas Hunt Morgan 224–25 ■ Barbara McClintock 271 ■ James Watson and Francis Crick 276–83 ■ Michael Syvanen 318–19 ■ William French Anderson 322–23



We are creating a new value system for life.
Craig Venter

DNA, which exists in the nucleus of every cell. The long string of DNA's chemical building blocks was identified as the genetic code that controls the workings of the cell. Creating life would mean creating DNA—and getting the sequence of building blocks, called nucleotides, exactly right. Nucleotides each have one of just four kinds of bases, but combine in countless ways.

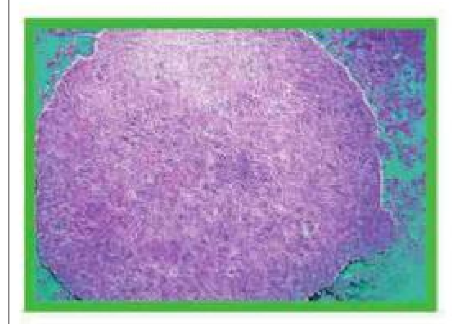
Making DNA

The sequence of nucleotides differs in each organism, and is the result of millions of years of evolution. A random sequence would send a nonsense chemical "message" that could not maintain a living thing. In order to create life, scientists had to copy a sequence from a naturally existing organism. By 1990, new technology was available to work this out through a host of complex methods, and the international Human Genome Project was launched to sequence the entire human genetic makeup, or genome.

The first organism—a bacterium—was sequenced in 1995. Three years later, frustrated by the slow pace of the Human Genome Project, Venter left to set up the private company Celera Genomics to sequence the human genome more quickly and to release the data into the public domain. In 2007, his team announced that it had made an artificial chromosome—a complete string of DNA—based on that of a bacterium of the genus *Mycoplasma*. By 2010, his team had inserted an artificial chromosome into another bacterium whose genetic material had been removed, effectively creating a new life form.

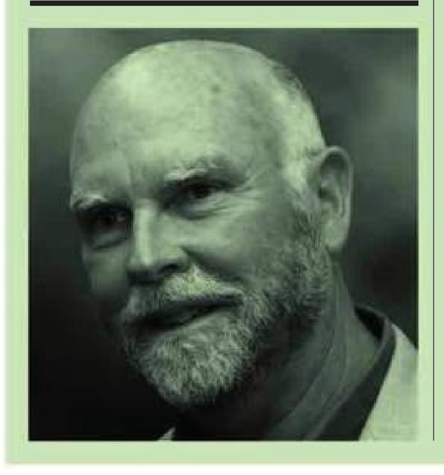
Computer-generated life

The genome of even the simplest living thing—such as *Mycoplasma*—consists of sequences of hundreds of thousands of nucleotides. These nucleotides must be artificially bonded together in a specific order, but doing this for a whole genome is a formidable task. The process is automated with the help of computer technology, on machines that can now decode the genetic blueprint of life, identify genetic factors in disease, and even serve to create new life forms. ■



Mycoplasma are bacteria that lack a cell wall. They are the smallest known life forms, and were chosen by Venter to be the first organisms to have their chromosomes artificially sequenced.

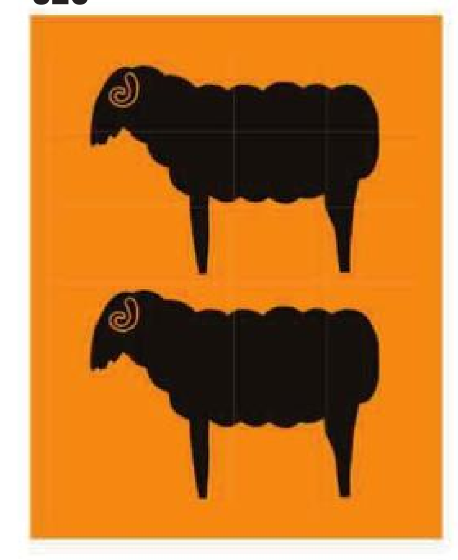
Craig Venter



Born in Salt Lake City, Utah, Craig Venter performed poorly at school. Drafted into the Vietnam War, he worked in a field hospital and became drawn to biomedical science. After studying at the University of California, San Diego, he joined the US National Institute of Health in 1984. In the 1990s, he helped develop technology that could locate genes in the human genetic makeup, becoming a pioneer in the growing field of genome research. He left the NIH to set up the not-for-profit Institute of Genomic Research in 1992. He invented a way of sequencing whole genomes, focusing first on the bacterium *Haemophilus influenzae*. Turning to the human genome, he set up the profit-making company Celera and helped build advanced sequencing machines. In 2006, he founded the not-for-profit J. Craig Venter Institute to conduct research into the creation of artificial life forms.

Key works

2001 *The Sequence of the Human Genome*
2007 *A Life Decoded*



A NEW LAW OF NATURE

IAN WILMUT (1944–)

IN CONTEXT

BRANCH
Biology

BEFORE
1953 James Watson and Francis Crick demonstrate that DNA has a double helix structure that carries the genetic code and can replicate.

1958 F. C. Stewart clones carrots from mature (differentiated) tissues.

1984 Danish biologist Steen Willadsen develops a way of fusing embryo cells with egg cells that have had their genetic material removed.

AFTER
2001 The first endangered animal, a gaur (Indian bison) named Noah, is born in the US by reproductive cloning. It dies of dysentery two days later.

2008 Therapeutic cloning of tissue is shown to be effective at curing Parkinson's disease in mice.

Cloning is the production of a new, genetically identical organism from a single parent. It occurs in nature, such as when a strawberry plant sends out runners and the offspring inherit all their genes asexually. However, artificial cloning is tricky, as not all cells have the potential to grow into complete individuals, and mature cells may be reluctant to do so. The first successful cloning of a multicell organism was achieved in 1958 by British biologist F. C. Stewart, who grew a carrot plant from a single mature cell. Cloning animals proved trickier.



The pressures for human cloning are powerful; but we need not assume that it will ever become a common or significant feature of human life.
Ian Wilmut



Cloning animals

In animals, fertilized eggs and the cells of a young embryo are among the few totipotent cells—cells that can grow to form a whole body. By the 1980s, scientists could produce clones by separating young embryo cells, but it was difficult. British biologist Ian Wilmut and his team instead inserted the nuclei of body cells into fertilized eggs that had had their genetic material removed—thereby making them totipotent.

Using udder cells of sheep as the source of nuclei, the team inserted the resultant embryos into sheep to develop normally. In total, 27,729 of these cells grew into embryos, and one, named Dolly, born in 1996, survived into adulthood. Research into cloning for agriculture, conservation, and medicine continues, as does public debate over its ethics. ■

See also: Gregor Mendel 166–71 ■ Thomas Hunt Morgan 224–25 ■ James Watson and Francis Crick 276–83



WORLDS BEYOND THE SOLAR SYSTEM

GEOFFREY MARCY (1954–)

IN CONTEXT

BRANCH
Astronomy

BEFORE
1960s Astronomers hope to detect new planets through measurement of "wobbles" in the paths of stars, but such movements remain beyond the range of even the strongest telescopes today.

1992 Polish astronomer Aleksander Wolszczan finds the first confirmed extrasolar planets in orbit around a pulsar (a burned-out stellar core).

AFTER
2009–2013 NASA's Kepler satellite discovers more than 3,000 candidate exoplanets by looking for minute drops in the brightness of stars as planets pass in front of them. Based on Kepler data, astronomers predict there could be as many as 11 billion Earthlike worlds orbiting Sunlike stars in the Milky Way galaxy.

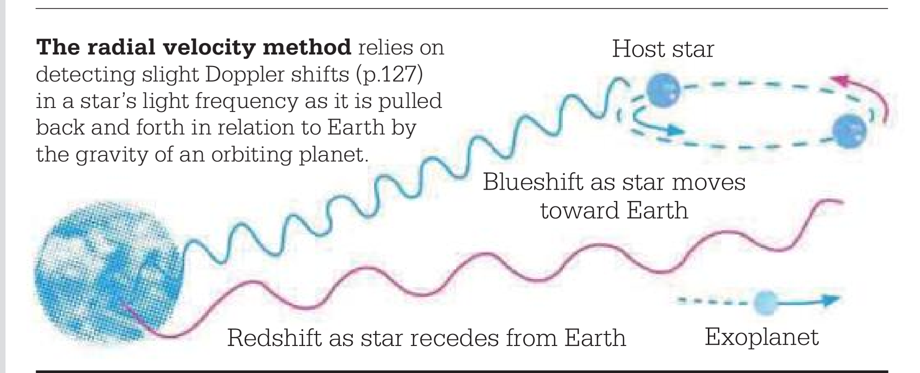
Astronomers have long pondered the possibility of planets orbiting stars other than our Sun, but technology has, until recently, limited our ability to detect them. First to be found were planets that orbited pulsars—rapidly spinning neutron stars whose radio signals vary slightly as their planets pull them this way and that. Then, in 1995, Swiss astronomers Michel Mayor and Didier Queloz discovered 51 Pegasi b—a Jupiter-sized planet orbiting a Sunlike star about 51 light years from Earth. Since then, more than 1,000 other extrasolar planets, or "exoplanets," have been confirmed.

Planet hunter

Astronomer Geoffrey Marcy at the University of California, Berkeley, along with his team, currently holds the record for the most planets found by a human observer, including 70 out of the first 100.

Such distant planets are too faint to be seen directly, but can be revealed indirectly. The effect of a planet's gravity on its host star produces variations in the star's radial velocity—the speed at which it moves toward or away from Earth—which can be measured from changes in its light frequency. Whether any exoplanets support life remains to be seen. ■

The radial velocity method relies on detecting slight Doppler shifts (p.127) in a star's light frequency as it is pulled back and forth in relation to Earth by the gravity of an orbiting planet.



See also: Nicolaus Copernicus 34–39 ■ William Herschel 86–87 ■ Christian Doppler 127 ■ Edwin Hubble 236–41

DIRECTO

RY

DIRECTORY



From its roots with individuals or small groups working mostly in isolation, often in pursuit of quasi-religious goals, science has been transformed into a practical activity that is central to the working of modern society. Today, many projects are highly collaborative in nature, and it can be hard—and indeed invidious—to pick out particular figures. More areas of research exist than ever before, and the boundaries between disciplines are becoming blurred. Mathematicians provide solutions to the problems of physics and physicists explain the nature of chemical reactions, while chemists delve into the mysteries of life and biologists turn their attention to artificial intelligence. Here, we list just some of the figures who have added to our understanding of the world.

PYTHAGORAS
c.570–495 BCE

Little is known for certain about the life of the Greek mathematician Pythagoras, who did not leave behind any written work. He was born on the Greek island of Samos, but left some time before 518 BCE for Croton in southern Italy, where he founded a secretive philosophical and religious society called the Pythagoreans. The society's inner circle called themselves *mathematikoi*, and held that reality, at its deepest level, is mathematical in nature. Pythagoras believed that the relations between all things could be reduced to numbers, and his group began discovering these relations. Among his many contributions to science and mathematics, Pythagoras studied the harmonics of vibrating strings, and probably provided the first proof of the theorem that now bears his name: that the square of the hypotenuse on a right-angled triangle is equal to the sum of the squares of the other two sides.

See also: Archimedes 24–25

XENOPHANES
c.570–475 BCE

Xenophanes of Colophon was an itinerant Greek philosopher and poet. His wide-ranging interests reflected the knowledge he gained from careful observations made on his extensive travels. He identified the energy of the Sun that heats the oceans to create clouds as the driving force behind physical processes on Earth. Xenophanes thought that clouds were the origin of heavenly bodies: the stars were burning clouds, while the Moon was made of compressed cloud. Upon discovering the fossilized remains of sea creatures far inland, he reasoned that Earth alternated between periods of flood and drought. Xenophanes produced one of the earliest accounts of natural phenomena that did not invoke divine forces to explain them, but his works were largely neglected in the centuries after his death.

See also: Empedocles 21 ▪ Zhang Heng 26–27

ARYABHATA
476–550 CE

Working in Kusumapura, a center of learning in India's Gupta empire, the Hindu mathematician and astronomer Aryabhata wrote a short treatise that was to prove highly influential among later Islamic scholars. Written in verse when he was just 23 years old, the *Arabhatiya* contains sections on arithmetic, algebra, trigonometry, and astronomy. It includes an approximation of pi (π, the ratio of a circle's circumference to its diameter) as 3.1416, which is accurate to four decimal places, and of Earth's circumference as 24,835 miles (39,968km)—very close to the current accepted figure of 24,902 miles (40,075km). Aryabhata also suggested that the apparent movement of the stars was due to the rotation of Earth and that the orbits of the planets were ellipses, but appears to have fallen short of proposing a heliocentric model of the solar system.

See also: Nicolaus Copernicus 34–39 ▪ Johannes Kepler 40–41

BRAHMAGUPTA
598–670

The Indian mathematician and astronomer Brahmagupta introduced the concept of zero into the number system, defining it as the result of subtracting a number from itself. He also detailed the arithmetic rules for dealing with negative numbers. He wrote his major work in 628, while living and working in Bhillamala, the capital city of the Gurjara-Pratihara dynasty. Called *Brahma-sphuta-siddhanta* (*The Correct Treatise of the Brahma*), the work contained no mathematical symbols but included a full description of the quadratic formula, a means of solving quadratic equations. The work was translated into Arabic in Baghdad the following century and was a major influence on later Arab scientists.
See also: Alhazen 28–29

JABIR IBN-HAYYAN
c.722–c.815

The Persian alchemist Jabir Ibn-Hayan, also known by the latinized name Geber, was a practical, experimental scientist, who outlined detailed methods for, among other things, making alloys, testing metals, and fractional distillation. Almost 3,000 different books have been attributed to Jabir, but many were probably written in the century after his death. Few of Jabir's works were known to medieval Europe, but a work attributed to him, called *Summa Perfectionis Magisterii* (*The Sum of Perfection*), appeared in the 13th century. It became the best-known book on alchemy in Europe, but was probably written by the Franciscan monk Paul of Taranto. At the time, it was common practice for an author to adopt the name of an illustrious predecessor.
See also: John Dalton 112–13

IBN-SINA
980–1037

Also known as Avicenna, the Persian physician Abu 'Ali al-Husayn Ibn-Sina was a child prodigy who had memorized the entire Koran by the age of 10. He wrote widely on topics including mathematics, logic, astronomy, physics, alchemy, and music, producing two major works: the *Kitab al-shifa* (*The Book of Healing*), a huge encyclopedia of science; and *Al-Qanun fi al-Tibb* (*The Canon of Medicine*), which was to remain in use as a university textbook into the 17th century. Ibn-Sina outlined not only medical cures but also ways to stay healthy, stressing the importance of exercise, massage, diet, and sleep. He lived through a period of political upheaval and often found his studies interrupted by the need to stay on the move.
See also: Louis Pasteur 156–59

AMBROISE PARÉ
c1510–1590

Ambroise Paré spent 30 years working as a military surgeon in the French army, during which time he developed many new techniques, including the use of ligatures to tie arteries after amputation of a limb. He studied anatomy, developed artificial limbs, and produced one of the first medical descriptions of the condition known as "phantom limb," in which the patient feels sensation in a limb after it has been amputated. He also made artificial eyes from gold, silver, porcelain, and glass. Paré examined the internal organs of people who had died violent deaths and wrote the first legal medical reports, marking the beginning of modern forensic pathology. Paré's work raised the previously low social status of surgeons, and he acted as personal surgeon to four French kings. *Les Oeuvres* (*The Works*), a book detailing his techniques, was published in 1575.
See also: Robert Hooke 54

WILLIAM HARVEY
1578–1657

English physician William Harvey produced the first accurate description of the circulation of blood, showing that it flows rapidly through the body in one system pumped by the heart. Previously, there were thought to be two blood systems: the veins carried purple blood full of nutrients from the liver, while the arteries carried scarlet "life-giving" blood from the lungs. Harvey demonstrated blood flow in numerous experiments, and studied the heartbeats of various animals. However, he was opposed to the mechanical philosophy of Descartes, and believed that blood had its own life force. Initially resisted, by the time of his death, Harvey's theory of circulation was widely accepted. Smaller capillaries linking the arteries and veins were discovered under new microscopes in the late 17th century.
See also: Robert Hooke 54 ▪ Antonie van Leeuwenhoek 56–57

MARIN MERSENNE
1588–1648

The French monk Marin Mersenne is best remembered today for his work on prime numbers, showing that if the number 2^n–1 is prime, then n must also be prime. He also conducted extensive studies in many scientific fields, including harmonics, in which he figured out the laws that govern the frequency of vibrations of a stretched string. Mersenne lived in Paris, where he collaborated with René Descartes, and corresponded extensively with Galileo, whose works he translated into French. He strongly advocated experiment as the key to scientific understanding, stressing the need for accurate data and criticizing many of his contemporaries for their lack of rigor. In 1635, he founded the Académie Parisienne, a private scientific association with more than 100 members across Europe, which would later become the French Academy of Sciences.
See also: Galileo Galilei 42–43

RENÉ DESCARTES
1596–1650

The French philosopher René Descartes was a key figure in the Scientific Revolution of the 17th century, traveling widely across Europe and working with many of the prominent figures of his day. He helped European scientists to finally overcome Aristotle's nonempirical approach by applying a thorough scepticism to assumed knowledge. Descartes produced a four-pronged method of scientific inquiry, based on mathematics: accept nothing as true unless it is self-evident; divide problems into their simplest parts; solve the problems by moving from the simple to the complex; and, lastly, check your results. He also developed the Cartesian system of coordinates—with *x*, *y*, and *z* axes—to represent points in space using numbers. This allowed shapes to be expressed as numbers and numbers to be expressed as shapes, founding the mathematical field of analytical geometry.
See also: Galileo Galilei 42–43 ▪ Francis Bacon 45

HENNIG BRAND
c.1630–c.1710

Little is known about the early life of German chemist Hennig Brand. We do know that he fought in the Thirty Years' War and dedicated himself to alchemy on leaving the army, searching for the elusive philosopher's stone that would turn base metal into gold. In 1669, Brand produced a waxy, white material by heating the residue of boiled-down urine. He called this material "phosphorus" ("light-carrier") because it glowed in the dark. Phosphorus is highly reactive and never found as a free element on Earth, and this marked the first time that such an element had been isolated. Brand kept his method secret, but phosphorus was discovered independently by Robert Boyle in 1680.
See also: Robert Boyle 46–49

GOTTFRIED LEIBNIZ
1646–1716

The German Gottfrield Leibniz studied law at the University of Leipzig. During his studies, he became increasingly interested in science as he discovered the ideas of Descartes, Bacon, and Galileo, which marked the start of a lifelong quest to collate all human knowledge. He later studied mathematics in Paris under Christiaan Huygens, and it was here that he began to develop calculus—a mathematical means of calculating rates of change that was to prove crucial to the development of science. He developed calculus at the same time as Isaac Newton, with whom he corresponded and then fell out. Leibniz actively promoted the study of science, corresponding with more than 600 scientists across Europe and setting up academies in Berlin, Dresden, Vienna, and St. Petersburg.
See also: Christiaan Huygens 50–51 ▪ Isaac Newton 62–69

DENIS PAPIN
1647–1712

As a young man, French-born English physicist and inventor Denis Papin assisted both Christiaan Huygens and Robert Boyle in their experiments on air and pressure, and in 1679, he invented the pressure cooker. Observing how the steam in the cooker tended to raise the lid, Papin then came up with the idea of using steam to drive a piston in a cylinder, and produced the first design for a steam engine. Papin never built a steam engine himself, but in 1709, he constructed a paddle wheel that demonstrated the practicability of using paddles instead of oars in steam-powered ships.
See also: Robert Boyle 46–49 ▪ Christiaan Huygens 50–51 ▪ Joseph Black 76–77

STEPHEN HALES
1677–1761

English clergyman Stephen Hales conducted a series of pioneering experiments on plant physiology. He measured the water vapor emitted by the leaves of plants in a process called transpiration, and this led him to the discovery that transpiration drives a continuous upward flow of fluid from the roots that carries dissolved nutrients around the whole plant. Sap moves from an area of high pressure in the roots to areas of lower pressure where water vapor is transpiring. Hales published his results in 1727 in the book *Vegetable Staticks*. In addition, he conducted extensive experiments with animals, particularly dogs, measuring blood pressure for the first time. Hales also invented the pneumatic trough, an apparatus used to collect the gases emitted during chemical reactions.

See also: Joseph Priestley 82–83 ▪ Jan Ingenhousz 85

DANIEL BERNOULLI
1700–1782

Daniel Bernoulli was perhaps the most gifted in a remarkable family of Swiss mathematicians—his uncle Jakob and father Johann both did important work in developing calculus. In 1738, he published *Hydrodynamica*, in which he examined the properties of fluids. He formulated Bernoulli's principle, that a fluid's pressure decreases as its velocity increases. This principle is key to understanding how the wings of an airplane produce lift. He realized that a moving fluid must exchange some of its pressure for kinetic energy in order not to violate the principle of the conservation of energy. In addition to mathematics and physics, Bernoulli studied astronomy, biology, and oceanography.

See also: Joseph Black 76–77 ▪ Henry Cavendish 78–79 ▪ Joseph Priestley 82–83 ▪ James Joule 138 ▪ Ludwig Boltzmann 139

GEORGES-LOUIS LECLERC, COMTE DE BUFFON
1707–1788

From 1749 to the end of his life, French aristocrat and naturalist the Comte de Buffon worked tirelessly on his monumental work *Histoire Naturelle* (*Natural History*). His goal was to collate all knowledge in the fields of natural history and geology. The encyclopedia spanned 44 volumes when it was finally completed by his assistants 16 years after his death. Buffon constructed a geological history of Earth, suggesting that it was much older than previously assumed. He charted the extinction of species and suggested a common ancestor of humans and apes, predating Charles Darwin by a century.

See also: Carl Linnaeus 74–75 ▪ James Hutton 96–101 ▪ Charles Darwin 142–49

GILBERT WHITE
1720–1793

British parson Gilbert White was an unmarried curate who lived a quiet life in the small Hampshire village of Selborne. His 1789 book, *The Natural History and Antiquities of Selborne*, was a compilation of letters written to his friends. In his letters, White laid out a record of his systematic observations of nature and developed his ideas about the interrelationships of living things. He was, in effect, the first ecologist. White recognized that all living things have a role to play in what we would now call the ecosystem, noting of earthworms that they "seem to be the great promoters of vegetation, which would proceed but lamely without them." White's methods, including taking recordings in the same places over many years, were highly influential on subsequent biologists.

See also: Alexander von Humboldt 130–35 ▪ James Lovelock 315

NICÉPHORE NIEPCE
1765–1833

The oldest surviving photograph was taken in 1825 by French inventor Nicéphore Niepce of the buildings around his country estate in Saint-Loup-de-Varennes. Niepce had been experimenting for several years to find a technique to fix the image projected onto the back of a camera obscura. In 1816, he produced a negative image using paper coated with silver chloride, but the image disappeared when exposed to daylight. Then around 1822, he came up with a process he called heliography, which used a plate of glass or metal coated with bitumen. The bitumen hardened when it was exposed to light, and when the plate was washed with lavender oil, only the hardened areas remained. It took eight hours of exposure to fix the images. Near the end of his life, Niepce collaborated with Louis Daguerre on ways to improve the process.

See also: Alhazen 28–29

ANDRÉ-MARIE AMPÈRE
1775–1836

Upon hearing of Hans Christian Ørsted's accidental discovery of the link between electricity and magnetism in 1820, French physicist André-Marie Ampère started formulating a mathematical and physical theory that explained their relationship. In the process, he formulated Ampère's law, which states the mathematical relation of a magnetic field to the electric current that produces it. Ampère published his results in 1827, and his book, *Memoir on the Mathematical Theory of Electrodynamic Phenomena*, uniquely deduced from experience, gave a name to this new scientific field—electrodynamics. The standard unit of electric current, the ampere (or amp), is named after him.

See also: Hans Christian Ørsted 120 ▪ Michael Faraday 121

LOUIS DAGUERRE
1787–1851

The first practical photographic process was invented by the French painter and physicist Louis Daguerre. From 1826, Daguerre collaborated with Nicéphore Niepce on his heliographic process, but this needed at least eight hours of exposure. Following Niepce's death in 1833, Daguerre developed a process in which an image on an iodized silver plate was developed by exposure to mercury fumes and fixed using saline. This reduced the exposure time required to 20 minutes, making it practical to take photographs of people for the first time. Daguerre wrote a full description of his process, called the daguerreotype, in 1839, and it made him a fortune.

See also: Alhazen 28–29

AUGUSTIN FRESNEL
1788–1827

French engineer and physicist Augustin Fresnel is best known as the inventor of the Fresnel lens, which allows the light from a lighthouse to be seen over greater distances. He studied the behavior of light, building on the double-slit experiments of Thomas Young, with whom he corresponded. Fresnel conducted a great deal of important theoretical work on optics, producing a set of equations describing how light is refracted or reflected as it passes from one medium to another. The importance of much of his work was only recognized after his death.

See also: Alhazen 28–29 ▪ Christiaan Huygens 50–51 ▪ Thomas Young 110–11

CHARLES BABBAGE
1791–1871

British mathematician Charles Babbage conceived the first digital computer. Appalled by the number of errors in printed mathematical tables, Babbage designed a machine to calculate the tables automatically, and in 1823 hired engineer Joseph Clement to build it. His "Difference Engine" was to be an elegant contraption of brass cogwheels, but Babbage got only as far as a prototype before running out of money and energy. In 1991, scientists at London's Science Museum built a Difference Engine to Babbage's specification, using only technology that would have been available at the time, and it worked, though it tended to jam after a minute or two. Babbage also dreamed of a steam-powered "Analytical Engine," which would take instructions on punched cards, hold data in a "store," carry out calculations in the "mill," and print out the results. This might have been a real computer in the modern sense. His protégée Ada Lovelace (the daughter of poet Lord Byron) wrote programs for it, and has been called the world's first computer programmer. However, the Analytical Engine project never got off the ground.

See also: Alan Turing 252–53

SADI CARNOT
1796–1832

Nicolas-Léonard-Sadi Carnot was an officer in the French army who semiretired on half-pay to Paris in 1819 to devote himself to science. Hoping to see France catch up with Britain in the Industrial Revolution, Carnot began designing and building steam engines. His research led to his only publication, in 1824, *Reflections on the Motive Power of Fire*, in which he noted that the efficiency of a steam engine depends principally on the temperature difference between the hottest and coldest parts of the engine. This pioneering work on thermodynamics was later developed by Rudolf Clausius in Germany and William Thomson, Lord Kelvin in Britain, but was largely ignored in Carnot's lifetime. He died in relative obscurity during a cholera epidemic, at just 36.

See also: Joseph Fourier 122 ▪ James Joule 138

JEAN-DANIEL COLLADON
1802–1893

Swiss physicist Jean-Daniel Colladon demonstrated that light could be trapped by total internal reflection inside a tube, allowing it to travel along a curved path—a core principle behind modern-day optical fibers. In experiments conducted on Lake Geneva, Colladon demonstrated that sound travels four times more quickly through water than through air. He transmitted sound through water over a distance of 30 miles (50km), and proposed using this method as a means of communicating across the English Channel. He also conducted important work in the field of hydraulics, studying the compressibility of water.
See also: Léon Foucault 136–37

JUSTUS VON LIEBIG
1803–1873

The son of a chemical manufacturer in Darmstadt, Germany, Justus von Liebig conducted his first chemistry experiments as a child in his father's laboratory. He grew up to become a charismatic professor of chemistry whose laboratory-based teaching methods were hugely influential. Von Liebig discovered the importance of nitrates to plant growth and developed the first industrial fertilizers. He was also interested in the chemistry of food and developed a manufacturing process to produce beef extracts. The company he founded, the Liebig Extract of Meat Company, would later produce the trademarked Oxo stock cubes.
See also: Friedrich Wöhler 124–25

CLAUDE BERNARD
1813–1878

French physiologist Claude Bernard was a pioneer in experimental medicine. He was the first scientist to study the internal regulation of the body, and his work was to lead to the modern concept of homeostasis—the mechanism by which the body maintains a stable internal environment while the external environment changes. Bernard studied the roles of the pancreas and liver in digestion, and described how chemicals are broken down into simpler substances only to be built up again into the complex molecules needed to make body tissues. His major work, *An Introduction to the Study of Experimental Medicine*, was published in 1865.
See also: Louis Pasteur 156–59

WILLIAM THOMSON
1824–1907

Born in Belfast, physicist William Thomson became professor of natural philosophy at Glasgow University at 22 years old. In 1892, he was ennobled, and became Baron Kelvin, after the river that runs through Glasgow University. Kelvin viewed physical change as fundamentally a change in energy, and his work produced a synthesis of many areas of physics. He developed the second law of thermodynamics and established the correct value for "absolute zero," the temperature at which all molecular movement ceases, at –459.6°F (–273.15°C). The Kelvin scale, which starts at 0 at absolute zero, is named after him. He invented the mirror galvanometer to receive faint telegraph signals, and presided over the laying of the transatlantic cable in 1866. He also invented an improved mariner's compass and a tide-predicting machine. Lord Kelvin often courted controversy, rejecting Darwin's theory of evolution and making many bold statements—including the prediction that "no aeroplane will ever be practically successful," made one year before the Wright brothers' first flight in 1903. However, a quote widely attributed to Lord Kelvin stating that "there is nothing new to be discovered in physics now" is almost certainly apocryphal.
See also: James Joule 138 ▪ Ludwig Boltzmann 139 ▪ Ernest Rutherford 206–213

JOHANNES VAN DER WAALS
1837–1923

Dutch physicist Johannes van der Waals made a significant contribution to the field of thermodynamics with his 1873 doctoral thesis, in which he showed that there is a continuity between a liquid and gaseous state at a molecular level. Van der Waals showed not only that these two states of matter merge into one another, but also that they should be considered as essentially of the same nature. He postulated the existence of forces between molecules, which are now called the van der Waals forces, and which explain properties of chemicals such as their solubility.
See also: James Joule 138 ▪ Ludwig Boltzmann 139 ▪ August Kekulé 160–65 ▪ Linus Pauling 254–59

ÉDOUARD BRANLY
1844–1940

A physics professor at the Paris Catholic Institute, Édouard Branly was a pioneer in wireless telegraphy. In 1890, he invented a radio receiver known as the Branly coherer. The receiver was a tube with two electrodes inside it spaced a little apart, and metal filings in the space between the electrodes. When a radio signal was applied to the receiver, the resistance of the filings was reduced, allowing an electric current to flow between the electrodes. Branly's invention was used in later experiments on radio communication by Italian Guglielmo Marconi, and widely used in telegraphy up to 1910, when more sensitive detectors were developed.

See also: Alessandro Volta 90–95 ▪ Michael Faraday 121

IVAN PAVLOV
1849–1936

The son of a priest, Russian Ivan Pavlov abandoned plans to follow in his father's footsteps in order to study chemistry and physiology at the University of St. Petersburg. In the 1890s, Pavlov was studying salivation in dogs when he noticed that his dogs would salivate whenever he entered the room, even if he had no food with him. Pavlov realized that this must be a learned behavior, and started 30 years of experiments into what he called "conditioned responses." In one experiment, he would ring a bell every time he fed the dogs. He found that after a period of learning (conditioning), the dogs would salivate just when hearing the bell. In this work, Pavlov laid the groundwork for the scientific study of behavior, although physiologists today consider his explanations to be oversimplified.

See also: Konrad Lorenz 249

HENRI MOISSAN
1852–1907

French chemist Henri Moissan received the 1906 Nobel Prize in Chemistry for his work isolating the element fluorine, which he produced by electrolysing a solution of potassium hydrogen difluoride. When Moissan cooled the solution to –58°F (–50°C), pure hydrogen appeared at the negative electrode, and pure fluorine at the positive one. Moissan also developed an electric-arc furnace that could reach a temperature of 6,300°F (3,500°C), which he used in his attempts to synthesize artificial diamonds. He did not succeed, but his theory that diamonds could be made by putting carbon under high pressure at high temperatures was subsequently proved correct.

See also: Humphry Davy 114 ▪ Leo Baekeland 140–41

FRITZ HABER
1868–1934

The scientific legacy of German chemist Fritz Haber is mixed. On the positive side, Haber and his colleague Carl Bosch developed a process for synthesizing ammonia (NH_3) from hydrogen and atmospheric nitrogen. Ammonia is an essential ingredient of fertilizers, and the Haber–Bosch process allowed the industrial production of artificial fertilizers, greatly increasing food production. On the negative side, Haber developed chlorine and other deadly gases for use in trench warfare, and personally oversaw their use on battlefields during World War I. His wife Clara, also a chemist, killed herself in 1915 in opposition to her husband's involvement in the use of chlorine gas at Ypres.

See also: Friedrich Wöhler 124–25 ▪ August Kekulé 160–65

C. T. R. WILSON
1869–1959

Charles Thomson Rees Wilson was a Scottish meteorologist with a particular interest in the study of clouds. To help his studies, he developed a method of expanding moist air inside a closed chamber to produce the state of supersaturation needed for cloud formation. Wilson found that clouds formed in the chamber much more easily in the presence of dust particles. In the absence of dust, clouds only formed when the saturation of the air passed a critical high point. Wilson believed that clouds were forming on ions (charged molecules) in the air. To test this theory, he passed radiation through the chamber to see whether the resultant ion formation would cause clouds to form. He found that the radiation left a trail of condensed water vapor in its wake. Wilson's cloud chamber proved crucial for studies in nuclear physics, and won him the Nobel Prize in Physics in 1927. In 1932, the positron was first detected using a cloud chamber.

See also: Paul Dirac 246–47 ▪ Charles Keeling 294–95

EUGÈNE BLOCH
1878–1944

French physicist Eugène Bloch conducted studies in spectroscopy, and produced evidence in support of Albert Einstein's interpretation of the photoelectric effect using the idea of quantized light. During World War I, Bloch worked on military communications, developing the first electronic amplifiers for radio receivers. In 1940, he fell victim to the anti-Jewish laws of the Vichy government and was dismissed from his post as a professor of physics at the University of Paris. He fled to unoccupied southern France, but was captured by the Gestapo in 1944 and deported to Auschwitz, where he was killed.
See also: Albert Einstein 214–21

MAX BORN
1882–1970

In the 1920s, German physicist Max Born, while professor of experimental physics at the University of Göttingen, collaborated with Werner Heisenberg and Pascual Jordan to formulate matrix mechanics, a mathematical means of dealing with quantum mechanics. When Erwin Schrödinger formulated his wave function equation to describe the same thing, Born was the first to suggest the real-world meaning of Schrödinger's mathematics—it described the probability of finding a particle at a specific point on the space-time continuum. In 1933, Born and his family left Germany when the Nazis dismissed Jews from academic posts. He settled in Britain, becoming a British citizen in 1939. He was awarded a Nobel Prize in Physics for his work on quantum mechanics in 1954.
See also: Erwin Schrödinger 226–33 ▪ Werner Heisenberg 234–35 ▪ Paul Dirac 246–47 ▪ J. Robert Oppenheimer 260–65

NIELS BOHR
1885–1962

One of the leading early theorists of quantum physics, Dane Niels Bohr's first major contribution to the quantum revolution was to refine Ernest Rutherford's model of the atom. In 1913, Bohr added the idea that electrons occupy specific quantized orbits around the nucleus. In 1927, Bohr collaborated with Werner Heisenberg to formulate an explanation of quantum phenomena that came to be known as the Copenhagen interpretation. A concept central to this interpretation was Bohr's complementarity principle, which states that a physical phenomenon, such as the behavior of a photon or an electron, may express itself differently depending on the experimental set-up used to observe it.
See also: Ernest Rutherford 206–13 ▪ Erwin Schrödinger 226–33 ▪ Werner Heisenberg 234–35 ▪ Paul Dirac 246–47

GEORGE EMIL PALADE
1912–2008

Romanian cell biologist George Emil Palade graduated in medicine from the University of Bucharest in 1940. He emigrated to the US at the end of World War II, and did his most important work at the Rockefeller Institute in New York. Palade developed new techniques for tissue preparation that allowed him to examine the structure of cells under an electron microscope, and this work greatly advanced the understanding of cellular organization. His most important achievement was the discovery in the 1950s of ribosomes—bodies inside cells that were previously thought to be fragments of mitochondria, but are in fact the primary sites of protein synthesis, linking together amino acids in a specific sequence.
See also: James Watson and Francis Crick 276–83 ▪ Lynn Margulis 300–01

DAVID BOHM
1917–1992

American theoretical physicist David Bohm advanced an unconventional interpretation of quantum mechanics. He postulated the existence of an "implicate order" to the universe that is a more fundamental order of reality than the phenomena we experience as time, space, and consciousness. He wrote: "an entirely different sort of basic connection of elements is possible, from which our ordinary notions of space and time, along with those of separately existent material particles, are abstracted as forms derived from the deeper order." Bohm worked with Albert Einstein at Princeton University until the early 1950s, when his Marxist political views led him to leave the US—first for Brazil and later London, where he was a professor of physics at Birkbeck College from 1961.
See also: Erwin Schrödinger 226–33 ▪ Hugh Everett III 284–85 ▪ Gabriele Veneziano 308–13

FREDERICK SANGER
1918–2013

British biochemist Frederick Sanger is one of four scientists to have won two Nobel prizes, both in Chemistry. He won his first prize in 1958 for determining the sequence of amino acids that make up the protein insulin. Sanger's work on insulin provided a key to understanding the way that DNA codes for making proteins, by showing that each protein has its own unique sequence of amino acids. Sanger's second prize was awarded in 1980 for his later work sequencing DNA. Sanger's team sequenced human mitochondrial DNA—a set of 37 genes found on mitochondria that is inherited only from the mother. The Sanger Institute, now one of the world's leading centers of genomic research, was established in his honor near his home in Cambridgeshire, Britain.
See also: James Watson and Francis Crick 276–83 ▪ Craig Venter 324–25

MARVIN MINSKY
1927–

American mathematician and cognitive scientist Marvin Minsky was an early pioneer in artificial intelligence, co-founding in 1959 the AI laboratory at the Massachusetts Institute of Technology (MIT), where he spent the rest of his career. His work focused on the generation of neural networks—artificial "brains" that can develop and learn from experience. In the 1970s, Minsky and his colleague Seymour Papert developed the "Society of Mind" theory of intelligence, investigating the way in which intelligence can emerge from a system made solely of nonintelligent parts. Minsky defines AI as "the science of making machines do things that would require intelligence if done by men." He was an advisor on the film *2001: A Space Odyssey,* and has speculated as to the possibility of extraterrestrial intelligence.
See also: Alan Turing 252–53 ▪ Donald Michie 286–91

MARTIN KARPLUS
1930–

Increasingly, modern science is conducted using computers to model results. In 1974, American-Austrian theoretical chemist Martin Karplus and his colleague, American-Israeli Arieh Warshel, produced a computer model of the complex molecule retinal, which changes shape when exposed to light and is crucial to the working of the eye. Karplus and Warshel used both classical physics and quantum mechanics to model the behavior of electrons in the retinal molecule. Their model greatly improved the sophistication and accuracy of computer modeling for complex chemical systems. Karplus and Warshel shared the 2013 Nobel Prize in Chemistry with British chemist Michael Levitt for their achievement in this field.
See also: Augus Kekulé 160–65 ▪ Linus Pauling 254–59

ROGER PENROSE
1931–

In 1969, British mathematician Roger Penrose collaborated with physicist Stephen Hawking to show how matter in a black hole collapses into a singularity. Penrose subsequently worked out the mathematics to describe the effects of gravity on the space-time surrounding a black hole. Penrose has turned his attention to a wide range of topics, proposing a theory of consciousness based on quantum mechanical effects operating at a subatomic level in the brain, and more recently a theory of a cyclic cosmology, in which the heat death (end state) of one universe becomes the Big Bang of another, in an endless cycle.
See also: Georges Lemaître 242–45 ▪ Subrahmanyan Chandrasekhar 248 ▪ Stephen Hawking 314

FRANÇOIS ENGLERT
1932–

In 2013, Belgian physicist François Englert shared the Nobel Prize in Physics with Peter Higgs for independently proposing what is now known as the Higgs field, which gives fundamental particles their mass. Working with fellow Belgian Robert Brout, Englert first suggested in 1964 that "empty" space might contain a field that confers mass to matter. The Nobel Prize was awarded as a result of the detection in 2012 at CERN of the Higgs boson—the particle associated with the Higgs field—which confirmed Englert, Brout, and Higgs' predictions. Brout had died in 2011, and so missed out on the Nobel Prize, which is not awarded posthumously.
See also: Sheldon Glashow 292–93 ▪ Peter Higgs 298–99 ▪ Murray Gell-Mann 302–07

STEPHEN JAY GOULD
1941–2002

American paleontologist Stephen Jay Gould's specialized area of research concerned the evolution of land snails in the West Indies, but he wrote widely about many aspects of evolution and science. In 1972, Gould and colleague Niles Eldredge proposed the theory of "punctuated equilibrium," which proposed that, rather than being a constant, gradual process as Darwin had imagined, the evolution of new species took place in rapid bursts over periods as short as a few thousand years, which were followed by long periods of stability. To back up their claim, they cited evidence from the fossil record, in which patterns of evolution in various organisms support their theory. In 1982, Gould coined the term "exaptation" to describe the way in which a particular trait may be passed on for one reason, and then later come to be coopted for a very different function. His work widened understanding of the mechanisms by which natural selection takes place.
See also: Charles Darwin 142–49 ▪ Lynn Margulis 300–01 ▪ Michael Syvanen 318–19

RICHARD DAWKINS
1941–

British zoologist Richard Dawkins is best known for his popular science books, including *The Selfish Gene* (1976). His most significant contribution to his field is his concept of the "extended phenotype." An organism's genotype is the sum of the instructions contained in its genetic code. Its phenotype is that which results from the expression of that code. While individual genes may simply code for the synthesis of different substances in an organism's body, the phenotype should be considered to be everything that results from that synthesis. For example, a termite mound may be considered to be part of a termite's extended phenotype. Dawkins views the extended phenotype as the means by which genes maximize their chances of survival to the next generation.
See also: Charles Darwin 142–49 ▪ Lynn Margulis 300–01 ▪ Michael Syvanen 318–19

JOCELYN BELL BURNELL
1943–

In 1967, while working as a research assistant at Cambridge University, British astronomer Jocelyn Bell was monitoring quasars (distant galactic nuclei) when she discovered a strange series of regular radio pulses coming from space. The team she was working with jokingly called the pulses LGM (Little Green Men), referring to the remote chance that they were an attempt at extraterrestrial communication. They later determined that the sources of the pulses were rapidly spinning neutron stars, which were dubbed pulsars. Two of Bell's senior colleagues were awarded the 1974 Nobel Prize in Physics for the discovery of pulsars, but Bell missed out because she was only a student at the time. Many leading astronomers, including Fred Hoyle, objected publicly to her omission.
See also: Edwin Hubble 236–41 ▪ Fred Hoyle 270

MICHAEL TURNER
1949–

American cosmologist Michael Turner's research focuses on understanding what happened directly following the Big Bang. Turner believes that the structure of the universe today, including the existence of galaxies and the asymmetry between matter and antimatter, can be explained by quantum-mechanical fluctuations that took place during the rapid burst of expansion called cosmic inflation, which occurred moments after the Big Bang. In 1998, Turner coined the term "dark energy" to describe the hypothetical energy that permeates the whole of space and explains the observation that the universe is expanding in all directions at an accelerating rate.
See also: Edwin Hubble 236–41 ▪ Georges Lemaître 242–45 ▪ Fritz Zwicky 250–51

TIM BERNERS-LEE
1955–

Few living scientists have had as much impact on everyday life as British computer scientist Tim Berners-Lee, who invented the World Wide Web. In 1989, Berners-Lee was working at CERN, the European Organization for Nuclear Research, when he had the idea of establishing a network of documents that could be shared across the world via the Internet. A year later, he wrote the first web client and server, and in 1991, CERN built the first website. Today, Berners-Lee campaigns for open access to the Internet, free from government control.
See also: Alan Turing 252–53

GLOSSARY

Absolute zero The lowest possible temperature: 0K or –459.67°F (–273.15°C).

Acceleration The rate of change of velocity. Acceleration is caused by a force that results in a change in an object's direction and/or speed.

Acid A chemical that, when dissolved in water, liberates hydrogen ions and turns litmus red.

Algorithm In mathematics and computer-programming, a logical procedure for making a calculation.

Alkali A base that dissolves in water and neutralizes acids.

Alpha particle A particle made of two neutrons and two protons, which is emitted during a form of radioactive decay called alpha decay. An alpha particle is identical to the nucleus of a helium atom.

Amino acids Organic chemicals with molecules that contain amino groups (NH_2) and carboxyl groups (COOH). Proteins are made from amino acids. Each different protein contains a specific sequence of amino acids.

Angular momentum A measure of the rotation of an object, which takes into account its mass, shape, and spin speed.

Antiparticle A particle that is the same as a normal particle except that it has an opposite electrical charge. Every particle has an equivalent antiparticle.

Atom The smallest part of an element that has the chemical properties of that element. An atom was thought to be the smallest part of matter, but many subatomic particles are now known.

Atomic number The number of protons in an atom's nucleus. Each element has a different atomic number.

ATP Adenosine triphosphate. A chemical that stores and transports energy across cells.

Base A chemical that reacts with an acid to make water and a salt.

Beta decay A form of radioactive decay in which an atomic nucleus gives off beta particles (electrons or positrons).

Big Bang The theory that the universe began from an explosion of a singularity.

Black body A theoretical object that absorbs all radiation that falls on it. A black body radiates energy according to its temperature, so may not in fact appear black.

Black hole An object in space that is so dense that light cannot escape its gravitational field.

Bosons Subatomic particles that carry forces between other particles.

Brane In string theory, an object that has between zero and nine dimensions.

Cell The smallest unit of an organism that can survive on its own. Organisms such as bacteria and protists are single cells.

Chaotic system A system whose behavior over time changes radically in response to small changes to its initial condition.

Chromosome A structure made of DNA and protein that contains a cell's genetic information.

Cladistics A system for classifying life that groups species according to their closest common ancestors.

Classical mechanics Also known as Newtonian mechanics. A set of laws describing the motion of bodies under the action of forces. Classical mechanics gives accurate results for macroscopic objects that are not traveling close to the speed of light.

Color charge A property of quarks by which they are affected by the strong nuclear force.

Continental drift The slow movement of continents around the globe over millions of years.

Covalent bond A bond between two atoms in which they share electrons.

Dark energy A poorly understood force that acts in the opposite direction to gravity, causing the universe to expand. About three quarters of the mass-energy of the universe is dark energy.

Dark matter Invisible matter that can only be detected by its gravitational effect on visible matter. Dark matter holds galaxies together.

Diffraction The bending of waves around obstacles and spreading out of waves past small openings.

DNA Deoxyribonucleic acid. A large molecule in the shape of a double helix that carries genetic information in a chromosome.

Doppler effect The change in frequency of a wave experienced by an observer in relative motion to the wave's source.

Ecology The scientific study of the relationships between living organisms and their environment.

Electric charge A property of subatomic particles that causes them to attract or repel one another.

Electric current A flow of electrons or ions.

Electromagnetic force One of the four fundamental forces of nature. It involves the transfer of photons between particles.

Electromagnetic radiation A form of energy that moves through space. It has both an electrical and a magnetic field, which oscillate at right-angles to each other. Light is a form of electromagnetic radiation.

Electroweak theory A theory that explains the electromagnetic and weak nuclear force as one "electroweak" force.

Electron A subatomic particle with a negative electric charge.

Electrolysis A chemical change in a substance caused by passing an electric current through it.

Element A substance that cannot be broken down into other substances by chemical reactions.

Endosymbiosis A relationship between organisms in which one organism lives inside the body or cells of another organism to their mutual benefit.

Energy The capacity of an object or system to do work. Energy can exist in many forms, such as kinetic energy (movement) and potential energy (for example, the energy stored in a spring). It can change from one form to another, but never be created or destroyed.

Entanglement In quantum physics, the linking between particles such that a change in one affects the other no matter how far apart in space they may be.

Entropy A measure of the disorder of a system. Entropy is the number of specific ways a particular system may be arranged.

Ethology The scientific study of animal behavior.

Event horizon A boundary surrounding a black hole within which the gravitational pull of the black hole is so strong that light cannot escape. No information about the black hole can cross its event horizon.

Evolution The process by which species change over time.

Exoplanet A planet that orbits a star that is not our Sun.

Fermion A subatomic particle, such as an electron or a quark, that is associated with mass.

Field The distribution of a force across space-time, in which each point can be given a value for that force. A gravitational field is an example of a field in which the force felt at a particular point is inversely proportional to the square of the distance from the source of gravity.

Force A push or a pull, which moves or changes the shape of an object.

Fractal A geometric pattern in which similar shapes can be seen at different scales.

Gamma decay A form of radioactive decay in which an atomic nucleus gives off high-energy, short-wavelength gamma radiation.

Gene The basic unit of heredity of living organisms, which contains coded instructions for the formation of chemicals such as proteins.

General relativity A theoretical description of space-time in which Einstein considers accelerating frames of reference. General relativity provides a description of gravity as the warping of space-time by mass. Many of its predictions have been demonstrated empirically.

Geocentrism A model of the universe with Earth at its center.

Gravity A force of attraction between objects with mass. Massless photons are also affected by gravity, which general relativity describes as a warping of space-time.

Greenhouse gases Gases such as carbon dioxide and methane that absorb energy reflected by Earth's surface, stopping it from escaping into space.

Heat death A possible end state for the universe in which there are no temperature differences across space, and no work can be done.

Heliocentrism A model of the universe with the Sun at its center.

Higgs boson A subatomic particle associated with the Higgs field, whose interaction with matter gives matter its mass.

Hydrocarbon A chemical whose molecules contain one of many possible combinations of hydrogen and carbon atoms.

Ion An atom, or group of atoms, that has lost or gained one or more of its electrons to become electrically charged.

Ionic bond A bond between two atoms in which they exchange an electron to become ions. The ions' opposite electric charge attracts them to each other.

Leptons Fermions that are affected by all of the four fundamental forces except the strong nuclear force.

Magnetism A force of attraction or repulsion exerted by magnets. Magnetism is produced by magnetic fields or by the property of magnetic moment of particles.

Mass A property of an object that is a measure of the force required to accelerate it.

Mitochondria Structures within a cell that supply energy to the cell.

Molecule The smallest unit of a compound that has its chemical properties, made of two or more atoms.

Momentum A measure of the force required to stop a moving object. It is equal to the product of the object's mass and its velocity.

Multiverse A hypothetical set of universes in which every possible event happens.

Natural selection The process by which characteristics that increase an organism's chances of reproducing are passed on.

Neutrino An electrically neutral subatomic particle that has a very small mass. Neutrinos can pass right through matter undetected.

Neutron An electrically neutral subatomic particle that forms part of an atom's nucleus. A neutron is made of one up-quark and two down-quarks.

Nucleus The central part of an atom, comprising protons and neutrons. The nucleus contains almost all of an atom's mass.

Optics The study of vision and the behavior of light.

Organic chemistry The chemistry of compounds containing carbon.

Parallax The apparent movement of objects at different distances relative to each other when an observer moves.

Particle A tiny speck of matter that can have velocity, position, mass, and charge.

Pauli exclusion principle In quantum physics, the principle that two fermions (particles with mass) cannot have the same quantum state in the same point in space-time.

Periodic table A table containing all the elements arranged according to their atomic number.

Photoelectric effect The emission of electrons from the surfaces of certain substances when light hits them.

Photon The particle of light that transfers the electromagnetic force from one place to another.

Photosynthesis The process by which plants use the energy of the Sun to make food from water and carbon dioxide.

Pi (π) The ratio between the circumference of a circle and its diameter. It is roughly equal to 22/7, or 3.14159.

Pi bond A covalent bond in which the lobes of the orbitals of two or more electrons overlap sideways, rather than directly, between the atoms involved.

Plate tectonics The study of continental drift and the way in which the ocean floor spreads.

Polarized light Light in which the waves all oscillate in just one plane.

Polymer A substance whose molecules are in the shape of long chains of subunits called monomers.

Positron The antiparticle counterpart of an electron, with the same mass but a positive electric charge.

Pressure A continual force pushing against an object. The pressure of gases is caused by the movement of their molecules.

Proton A particle in the nucleus of an atom that has positive charge. A proton contains two up-quarks and one down-quark.

Quantum electrodynamics (QED) A theory that explains the interaction of subatomic particles in terms of an exchange of photons.

Quantum mechanics The branch of physics that deals with the interactions of subatomic particles in terms of discrete packets, or quanta, of energy.

Quark A subatomic particle that protons and neutrons are made from.

Radiation Either an electromagnetic wave or a stream of particles emitted by a radioactive source.

Radioactive decay The process in which unstable atomic nuclei emit particles or electromagnetic radiation.

Redshift The stretching of light emitted by galaxies moving away from Earth, due to the Doppler effect. This causes visible light to move toward the red end of the spectrum.

Refraction The bending of electromagnetic waves as they move from one medium to another.

Respiration The process by which organisms take in oxygen and use it to break down food into energy and carbon dioxide.

Salt A compound formed from the reaction of an acid with a base.

Sigma bond A covalent bond formed when the orbitals of electrons meet head-on between atoms. It is a relatively strong bond.

Singularity A point in space-time with zero length.

Space-time The three dimensions of space combined with one dimension of time to form a single continuum.

Special relativity The result of considering that both the speed of light and the laws of physics are the same for all observers. Special relativity removes the possibility of an absolute time or absolute space.

Species A group of similar organisms that can breed with one another to produce fertile offspring.

Spin A quality of subatomic particles that is analogous to angular momentum.

Standard model The theoretical framework of particle physics in which there are 12 basic fermions —six quarks and six leptons.

String theory A theoretical framework of physics in which pointlike particles are replaced by one-dimensional strings.

Strong nuclear force One of the four fundamental forces, which binds quarks together to form neutrons and protons.

Superposition In quantum physics, the principle that, until it is measured, a particle such as an electron exists in all its possible states at the same time.

Thermodynamics The branch of physics that deals with heat and its relation to energy and work.

Transpiration The process by which plants emit water vapor from the surface of their leaves.

Uncertainty principle A property of quantum mechanics that means that the more accurately certain qualities, such as momentum, are measured, the less is known of other qualities such as position, and vice versa.

Uniformitarianism The assumption that the same laws of physics operate at all times in all places across the universe.

Valency The number of chemical bonds that an atom can make with other atoms.

Velocity A measure of an object's speed and direction.

Vitalism The doctrine that living matter is fundamentally different from nonliving matter. Vitalism posits that life depends on a special "vital energy." It is now rejected by mainstream science.

Wave An oscillation that travels through space, transferring energy from one place to another.

Weak nuclear force One of the four fundamental forces, which acts inside an atomic nucleus and is responsible for beta decay.

INDEX

Numbers in **bold** indicate main entries.





C









H

IJ



K

L

M

N











T

UV

W

XYZ

ACKNOWLEDGMENTS

Dorling Kindersley and Tall Tree Ltd. would like to thank Peter Frances, Marty Jopson, Janet Mohun, Stuart Neilson, and Rupa Rao for editorial assistance; Helen Peters for the index; and Priyanka Singh and Tanvi Sahu for assistance with illustrations. Directory written by Rob Colson. Additional artworks by Ben Ruocco.

PICTURE CREDITS

The publisher would like to thank the following for their kind permission to reproduce their photographs:

(Key: a-above; b-below/bottom; c-center; f-far; l-left; r-right; t-top)

25 Wikipedia: Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University (bl). **27 J D Maddy:** (bl). **Science Photo Library:** (tr). **38 Getty Images:** Time & Life Pictures (t). **39 Dreamstime.com:** Nicku (tr). **41 Dreamstime.com:** Nicku (tr). **43 Dreamstime.com:** Nicku (bl). **47 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (bc). **48 Chemical Heritage Foundation:** (bl). **Getty Images:** (cr). **51 Dreamstime.com:** Nicku (bl); Theo Gottwald (tc). **54 Wikipedia:** (crb). **55 Dreamstime.com:** Matauw (cr). **56 Science Photo Library:** R.W. Horne / Biophoto Associates (bc). **57 U.S. National Library of Medicine, History of Medicine Division:** Images from the History of Medicine (tr). **61 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (bl); Igor3451 (tr). **65 NASA:** (br). **68 Wikipedia:** Myrabella (tl). **69 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (tr). **NASA:** Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory / Carnegie Institution of Washington (bl). **74 Dreamstime.com:** Isselee (crb). **75 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (bl). **77 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (tr). **Getty Images:** (bl). **79 Getty Images**: (bl). **Library of Congress, Washington, D.C.:** (cr). **81 NOAA:** NOAA Photo Library (cr). **83 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (tr). **Wikipedia:** (bl). **85 Getty Images:** Colin Milkins / Oxford Scientific (cr). **87 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (bl). **Wikipedia:** (tl). **89 Science Photo Library:** European Space Agency (tl). **92 Getty Images:** UIG via Getty Images (bl). **94 Getty Images:** UIG via Getty Images. **95 Dreamstime.com:** Nicku (tr). **99 Dreamstime.com:** Adischordantrhyme (b). **100 Dreamstime.com:** Nicku (bl). **101 Getty Images:** National Galleries Of Scotland (tr). **103 Dreamstime.com:** Deborah Hewitt (tl). **The Royal Astronomical Society of Canada:** Image courtesy of Specula Astronomica Minima (bl). **104 Dreamstime.com:** Es75 (crb). **111 Wikipedia:** (tr). **113 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (bl). **Getty Images:** SSPL via Getty Images (cr). **114 Getty Images:** SSPL via Getty Images (cr). **117 Getty Images:** After Henry Thomas De La Beche / The Bridgeman Art Library (bl); English School / The Bridgeman Art Library (tr). **121 Getty Images:** Universal Images Group (cr). **123 Wikipedia:** (bl). **124 iStockphoto.com:** BrianBrownImages (cb). **125 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (tr). **129 Dreamstime.com:** Whiskybottle (bl). **Library of Congress, Washington, D.C.:** James W. Black (tr). **132 Corbis:** Stapleton Collection (bl). **135 Science Photo Library:** US Fish And Wildlife Service (tr). **Wikipedia:** (bl). **137 Wikipedia:** (bl). **138 Getty Images:** SSPL via Getty Images (crb). **141 Corbis:** Bettmann (tr). **Dreamstime.com:** Paul Koomen (cb). **145 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (bc). **146 Dreamstime.com:** Gary Hartz (bl). **147 Image courtesy of Biodiversity Heritage Library. http://www.biodiversitylibrary.org:** MBLWHOI Library, Woods Hole (tc). **148 Getty Images:** De Agostini (bl). **Wikipedia:** (tr). **149 Getty Images:** UIG via Getty Images. **152 Getty Images:** (bl). **153 NASA:** Jacques Descloitres, MODIS Rapid Response Team, NASA / GSFC (tl). **154 Getty Images:** SSPL via Getty Images (tl). **155 Dreamstime.com:** Proxorov (br). **157 Science Photo Library:** King's College London (cr). **159 Dreamstime.com:** Georgios Kollidas (tr). **164 Science Photo Library:** IBM Research (tr). **165 Dreamstime.com:** Nicku (bl). **Wikipedia:** (tr). **168 Getty Images:** (bl). **iStockphoto.com:** RichardUpshur (tr). **171 Getty Images:** Roger Viollet (tl). **172 Dreamstime.com:** Skripko Ievgen (cr). **176 Alamy Images:** Interfoto (cr). **178 iStockphoto.com:** Cerae (tr). **179 iStockphoto.com:** Popovaphoto (tr). **183 123RF.com:** Sastyphotos (br). **185 Dreamstime.com:** Nicku (tr). **187 Getty Images:** SSPL via Getty Images (clb); Time & Life Pictures (tr). **192 Getty Images:** (bl). **193 Wikipedia:** (br). **195 Dreamstime.com:** Sophie Mcaulay (b). **197 U.S. Department of Agriculture: Electron and Confocal Microscope Unit, BARC:** (cr). **Wikipedia:** Delft University of Technology (bl). **204 NASA:** NASA / SDO (tr). **205 Getty Images:** (bl). **209 Getty Images**. **210 Getty Images:** SSPL via Getty Images (bl). **218 Bernisches Historisches Museum:** (bl). **221 Wikipedia:** (tr). **223 Wikipedia:** Bildarchiv Foto Marburg (bl). **225 U.S. National Library of Medicine, History of Medicine Division:** Images from the History of Medicine (tr). **228 Wikipedia:** Princeton Plasma Physics Laboratory (b). **231 Getty Images:** SSPL via Getty Images (tr). **232 Getty Images:** Gamma-Keystone via Getty Images (tr). **235 Getty Images:** (tr). **238 Getty Images:** (bl). **239 Alamy Images:** WorldPhotos (tl). **240 NASA:** JPL-Caltech (br). **243 Corbis:** Bettmann (tr). **244 NASA:** WMAP Science Team (br). **245 NASA:** (tr). **247 Getty Images:** Roger Viollet (bl). **249 Wikipedia:** © Superbass/CC-BY-SA-3.0 - https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed (via Wikimedia Commons) - http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Christian_Moullec_5.jpg (cr). **251 Corbis:** Bettmann (tr). **253 Alamy Images:** Pictorial Press Ltd (tr). **259 National Library of Medicine:** (tr). **264 Wikipedia:** U.S. Department of Energy (bl). **265 USAAF. 271 123RF.com:** Kheng Ho Toh (cr). **273 Corbis:** Bettmann (tr). **278 Wikipedia:** © 2005 Lederberg and Gotschlich / Photo: Marjorie McCarty (bl). **280 Science Photo Library. 281 Alamy Images:** Pictorial Press Ltd (tc). **282 Wikipedia:** National Human Genome Research Institute. **285 Getty Images:** The Washington Post (tl). **289 Getty Images:** SSPL via Getty Images (cb). **290 University of Edinburgh:** Image from Donald Michie Web Site, used with permission of AIAI, University of Edinburgh, http://www.aiai.ed.ac.uk/~dm/donald-michie-2003.jpg (bl). **291 Corbis:** Najlah Feanny / CORBIS SABA. **292 SOHO (ESA & NASA):** (br). **293 Getty Images:** (tr). **295 National Science Foundation, USA:** (bl). **297 NASA:** NASA Langley Research Center (cb). **Science Photo Library:** Emilio Segre Visual Archives / American Institute Of Physics (tr). **299 © CERN:** (tc). **Wikipedia:** Bengt Nyman. File licensed under the Creative Commons Attribution 2.0 Generic licence: http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.en (bl). **300 Science Photo Library:** Don W. Fawcett (cb). **301 Javier Pedreira:** (tr). **305 Getty Images:** Peter Ginter / Science Faction. **307 Getty Images:** Time & Life Pictures (tr). **313 Wikipedia:** Jbourjai. **316 Dreamstime.com:** Cflorinc (cr). **319 Science Photo Library:** Torunn Berge (cr). **321 Wikipedia:** Trevor J. Simmons (tr). **325 Getty Images:** (bl); UIG via Getty Images (cr).